பாய்ம எந்திரவியல்

(FLUID MECHANICS)

எஸ். நாகரத்தினம்



மிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition—March, 1974

T.N.T.B.S. (C. P.) No. 569

© Tamil Nadu Text Book Society

FLUID MECHANICS

S. NAGARATNAM

Price Rs. 16-25

Published by the Tamil Nadu Text Book Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

Printed by
Super Power Press,
11, Francis Joseph Street,
Madras-1.

அணிந்துரை

திரு. இரா. நெடுஞ்செழியன்
(தமிழகக் கல்வி அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பதின்மூன் றுண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் பி.ஏ. வகுப்பு மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்றுவந்தனர். 1968ஆம் ஆண்டின் தொடக்கத்தில் புகுமுக வகுப்பிலும் (P.U.C.), 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து பட்டப் படிப்பு வகுப்புகளிலும் அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன் வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளிலும் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித் தர முன்வந்த நூலாசிரியர் கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத் திட்டம் நம் மிடையே மகிழ்ச்சியும் மன நிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடை- பெற்றுவருகிறது. இவ்வகையில், கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்க்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப் பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகம் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெருமுயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

பல துறைகளில் பணிபுரியும் பேராசிரியர்கள் எத்தனையோ நெருக்கடிகளுக்கிடையே குறுகிய காலத்தில் அரிய முறையில் நூல்கள் எழுதித் தந்துள்ளனர்.

வரலாறு, அரசியல், உளவியல், பொருளாதாரம், தத்துவம், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணிதம், இயற்பியல், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், விலங்கியல், தாவரவியல், பொறியியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் தனி நூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்ற இரு வகையிலும் தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் வெளியிட்டுவருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான **'பாய்ம எந்திரவியல்'** என்ற இந் நூல் தமிழ் நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 569 ஆவது வெளியீடாகும். கல்லூரித் தமிழ்க் குழுவின் சார்பில் வெளியான 35 நூல்களையும் சேர்த்து இதுவரை 604 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந் நூல் மைய அரசு கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப் படுகிறது.

உழைப்பின் வாரா உறுதிகள் இல்லை; ஆதலின், உழைத்து வெற்றி காண்போம். தமிழைப் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும். அதுவே தமிழன்னையின் குறிக்கோளுமாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக் கழகங்களின் பல்வகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம்கலந்த நன்றி உரியதாகுக.

இரா. நெடுஞ்செழியன்

முன்னுரை

பொறியியற் பாடத்திட்டத்தில் நீரியல் ஒரு முக்கியப் பிரிவாகும். பொது, மின்சார, எந்திர, சுரங்கப் பொறியியல் பிரிவுகளில் பயிலும் எல்லா மாணவர்களுக்கும் நீரியல் பொதுப் பாடமாகும். இந் நூலின்கண் பாய்மத்தின் சிறப்பியல்புகள் பலவும், பாய்ச்சலின் நெறிகள் பலவும், அவற்றைப் பொறியியல் துறையில் பயன்படுத்தும் முறைகளும் விரிவாக விளக்கப்பட்டுள்ளன. மத்திய காலத்தில் சோதனை முறையின் அடிப்படையில் வளர்ந்த நீரியலானது இந்த நூற்றுண்டின் தொடக்கத்தில் ஏற்பட்ட முன்னேற்றங்களால் எந்திரவியலின் பல கொள்கைகளைத் தன்னுள் ஏற்றுக்கொண்டது. இந் நூலில் நீரியலின் இன்றைய வளர்ச்சிகள் பலவும் விளக்கப்பட்டுள்ளன.

நம் நாட்டிலும் மெட்ரிக் முறை பழக்கத்திற்கு வந்துள்ளமையால், இந் நூலில் மெட்ரிக் அளவு முறையே முழுவதும் கையாளப்பட்டுள்ளது. அனைத்துலக எடை அளவு மாநாடு 1960ஆம் ஆண்டில் SI முறை என்று அழைக்கப்படும் அனைத்துலக அளவு முறையைப் (Systeme' Internationale d' Unites) பரிந்துரைக்க அதைப் பல நாடுகள் ஏற்றுக்கொண்டு பழக்கத்திற் கொண்டு வந்துள்ளன. நம் நாடும் இம் முறையை மிக விரைவில் கையாளுமாதலால் இந் நூலில் அம் முறையும் மெட்ரிக் முறையோடு பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது. இந் நூலில் கிலோகிராம் என்பது நிறையைக் குறிக்கும்.

இந் நூல் பொறியியற் கல்லூரிகளில் பட்டப்படிப்பு மாணவர்களின் தேவைக்கேற்ப எழுதப்பட்டுள்ளது. ஏறத்தாழ இன்னும் 5 முதல் 10 ஆண்டுகளுக்குள் ஏற்படக்கூடிய பாடத்திட்ட மாறுதல்களைக் கருத்திற்கொண்டு இப்போதைய பாடத்திட்டத்திற்குத் தேவைப்படாத சில பகுதிகளும் இந் நூலில் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. பொறியியற் கல்லூரிகளில் தமிழ் பாடமொழியாகப் பயன்படுத்தப்படும் காலத்தில் இப் பகுதிகள் திட்டமாகப் பாடத்திட்டத்தில் இடம் பெறும். முன்னேறிய நாடுகளில் பட்டப்படிப்பிற்குக் கற்றுக் கொடுக்கப்படும் பாடங்களின் தரத்தை மனத்திற்கொண்டு இந் நூல் எழுதப்பட்டுள்ளதால் சில பகுதிகள் இன்றைய தேவைக்கு அதிகமாகத் தோன்றலாம். ஆனல், நம்முடைய பாடத்திட்டத்தின் தரத்தை உயர்த்துவதற்கு இந் நூலில் விளக்கப்பட்டுள்ள பகுதிகள் அவசியமாகும்.

இது தமிழில் எழுதப்படும் முதலாவது நீரியல் பாடநூலாகும். ஆகையால், சில புதிய சொற்களும் விளக்க முறைகளும் முதன் முறையாகக் கையாளப்பட்டுள்ளன. அவை பற்றிய கருத்து களேயும், தேவையெனில் திருத்தங்களேயும் எப்போதும் மனம் உவந்து வரவேற்கிறேன்.

கொள்கைகளே எளிதில் புரிய வைப்பதற்கும், அவை பொறியியல் துறையில் எவ்வாறு பயன்படுத்தப்படுகின்றன என்பதை விளக்கவும், ஒவ்வொரு அத்தியாயத்திலும் ஆங்காங்கே பல மாதிரிக் கணக்குகள் உள்ளன. மாணவர்களின் பயிற்சிக்காக அத்தியாயத்தின் முடிவில் கணக்குகளும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

இந் நூலின் சில பகுதிகளேப் படித்து சில மாறுதல்களேயும், முன்னேற்றங்களேயும் தெரிவித்த திரு. சம்பத்து அவர்களுக்கு (பௌதிக விரிவுரையாளர், மண்டலப் பொறியியற் கல்லூரி, திருச்சி) என் மனமார்ந்த நன்றியைத் தெரிவித்துக்கொள்கிறேன்.

பிப்ரவரி, 1973
திருச்சி

எஸ். நாகரத்தினம்

பொருளடக்கம்

பக்கம்

பக்கம்

---

1. பாய்மத்தின் குணங்கள்

1·1. முன்னுரை

எந்திரவியலில் ஒரு பகுதியான பாய்ம எந்திரவியலானது பாய்மத்தின் நிலைமை (static), இயக்க (kinematic), இயக்கவிசைத் (dynamic) தன்மைகள்பற்றி விளக்குகிறது. பாய்மத்தின்மேல் தாக்கும் எந்தவிதமான புறவிசையும் செயல்படாத நிலையைப் பற்றி விளக்கும் பிரிவுக்கு நிலைநீரியல் (hydrostatics) எனப் பெயர். இயக்கவியல் (kinematics) என்னும் பிரிவு பாய்மம் பாயும்போது அதன் தன்மைகளைப்பற்றி விவரிக்கிறது. ஆனால், பாய்மத்தின் முடுக்கத்திற்குக் காரணமான புறவிசைகளைப்பற்றி இப் பிரிவில் பார்ப்பதில்லை. புறவிசைகளுக்கும் பாய்ச்சலுக்கு முள்ள தொடர்பை விளக்கும் பிரிவிற்கு இயக்கவிசையியல் (dynamics) எனப் பெயர்.

பொறியியற் கல்விக்கு அடிப்படையான பாடங்களுள் பாய்ம எந்திரவியல் ஒன்றாகும். இப் பிரிவின் தொடக்க காலத்தில், அதாவது கி.பி. 1, 2ஆம் நூற்றாண்டுகளில், பாய்மத்தின் பாய்ச்சல்பற்றிய பல கொள்கைகளும் பட்டறிவின் (empirical) அடிப்படையிலேயே இருந்தன. ரோமானியர்களின் குடிநீர் வழங்கு திட்டங்கள், மொகஞ்சதாரோ, ஹரப்பா நாகரிக காலத்தில் அமைக்கப்பட்ட கழிவுநீர்க் கால்வாய்கள் முதலியன நீரியல் பற்றிய பட்டறிவு சிறிதளவேனும் இல்லாமல் கட்டப்பட்டிருக்க முடியாது. நம்முடைய பழம் பெரும் தமிழ் நூல்களிலிருந்தும், வேதங்களிலிருந்தும், கிரேக்க ரோமானியப் பொறியியற் வல்லுநர் களின் கட்டுரைகளிலிருந்தும், அவர்கள் பல நீரியற் சாதனை களைச் செய்திருந்தபோதிலும், நீரியற் பற்றிய கொள்கைகளைச் சரியாக அறிந்திருக்கவில்லை என்பதனை உணருகிறோம். இருந்த போதிலும், அவர்கள் இந்தத் துறையில் அறிவை வளர்க்க வேண்டியதன் அவசியத்தை உணர்ந்திருந்தார்கள் என்பது

மட்டும் நமக்குத் தெரிகிறது. மேலே நாடுகளில் தொழிற் புரட்சியால் ஏற்பட்ட தேவைகளும், அறிவு மலர்ச்சியும் நீரியற் பற்றிய உண்மைகளை அறியப் பொறியியல் வல்லுநர்களையும், விஞ் ஞானிகளையும் ஊக்குவித்தது. 18ஆம் நூற்றுண்டின் ஆரம்பம் வரை யில் நீரியலின் வளர்ச்சி பட்டறிவு அடிப்படையில் அமைந்திருந்தது. பின்னர் கணித வல்லுநர்களும், பௌதிக அறிஞர்களும், பாய் மத்தின் பாகுநிலையைப் (viscosity) புறக்கணித்து விட்டால் பல வற்றிற்கு எளிதான முறையில் கணிதம் மூலம் விடை காணலாம் என விளக்கினர். ஆகவே, இலட்சிய பாய்மம் (ideal fluid) பற்றிய அறிவு நீர் இயக்கவிசையியல் (hydrodynamics) என்ற பிரிவில் வளரத் தொடங்கி, நீரியலுக்கு எவ்வகைத் தொடர்புமின்றி தனித்தே வளர்ந்தது. இந்த நூற்றுண்டின் தொடக்கம் வரை பாய்மம் பற்றி ஆராயும் இந்த இரண்டு பிரிவுகளான நீரியலும், நீர் இயக்கவிசையியலும் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்பு இன்றி தனித் தனியே வளர்ந்து வந்தன. இதனுல் இந்தத் துறையில் அறிவு வளர்ச்சி தடைப்பட்டது. இந்த நூற்றுண்டின் ஆரம்பத் தில் ஜெர்மானியரான பிராண்டல் (Prandtl) பாய்மத்தின் பாகு நிலையின் தன்மையானது பாய்மப் பாய்ச்சலின் எல்லைகளில்தான் செயல்படுகிறது; எங்கு திசைவேகம் சீரானதாக (uniform) இருக் கிறதோ அங்கு பாகுநிலைத் தன்மையைப் புறக்கணித்துபாய்மத்தை இலட்சிய பாய்மமாகக் கருதி, கணிதக் கொள்கைகளை பயன் படுத்தலாம் எனக் கண்டார். அதனுல் மெய்ப் பாய்ம ஓட்டத்தில் (real fluid motion) எல்லைப் பக்கத்திலுள்ள சிறிய படலத்தைத் தவிர மற்ற இடங்களில் கணித முறைகளைக் கையாண்டு பயனுற லாம் என்பதை விளக்கினுர். இவர் விளக்கிய எல்லைப் படலக் கொள்கையால் (boundary layer theory) இரண்டு பிரிவுகளாக இயங்கி வந்த இந்தத் துறையானது ஒன்றுபட்டு பாய்ம எந்திர வியல் என்ற தலைப்பில் முன்னினும் வேகமாக வளரத் தொடங்கி யது. பாய்ம எந்திரவியல் பற்றிய தற்கால ஆராய்ச்சி பகுத்தாயும் தன்மை வாய்ந்த கணித முறைகளையும் செயல் வழிகளுக்கு வகை செய்யும் சோதனை முறைகளையும் ஒருங்கே கையாளுகிறது. இந்த இயலானது, விமானவியல் (aeronautics), நீர்ச் சாதனவியல் (hydronautics), வானிலையியல் (meteorology), நீரியல் எந்திரங் கள் (hydraulic machines), வாயு இயக்க விசையியல் (gas dynamics) போன்ற பல துறைகளில் பயன்படுகிறது. இந் நூலின்கண் பொறியியலில் பயன்படும் பாய்ம எந்திரவியலின் அடிப்படைக் கொள்கைகள் விளக்கப்பட்டுள்ளன.

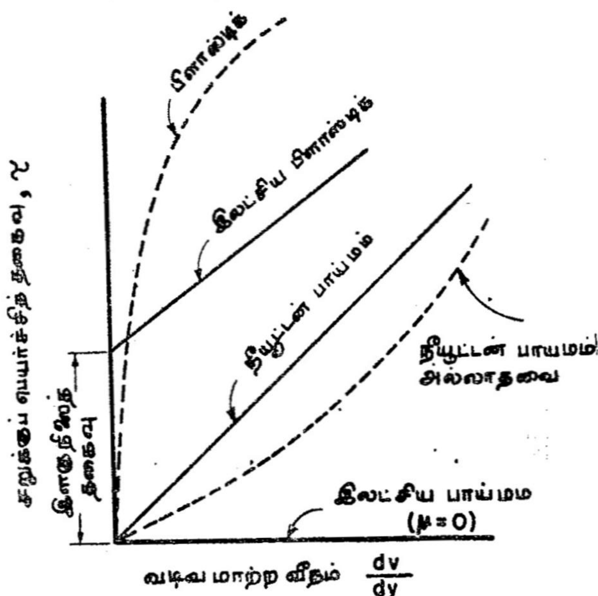
1·2. பாய்மம் (Fluid)

மூலக்கூறு கட்டமைப்பின் (molecular structure) அடிப்படையில் எந்தப் பொருள் பாயும் தன்மையுடையதாக இருக்கிறதோ அதற்குப் பாய்மம் எனப் பெயர். பாய்மம் திட, திரவ, வாயு நிலைகளில் இருக்கக்கூடும். பெரும்பாலான திடப் பொருள்கள் பாயும் தன்மையுடைத்தாயில்லாமல் இருப்பதால் அவைகள் பாய்மம் ஆகா. படிக அமைப்பில்லா (non-crystalline) திடப் பொருள்களான பிளாஸ்டிக்குகள், கண்ணாடி வகைகள் உயர் அழுத்தங்களில் பாயும் தன்மையை அடைகின்றன. உயர் அழுத்தங்களில் மூலக்கூறுகளிடையே ஒப்பியக்கம் (relative motion) நடைபெறுவதால் அத்தகைய திடப் பொருள்களையும் பாய்மம் எனக் கூறலாம். இந்தப் பொருள்கள் வெப்பமூட்டப் பட்டால் படிப்படியாக இளகி, திரவ நிலையை அடைகின்றன.

பாய்மமானது மேலே குறிப்பிட்ட மூன்று நிலைகளிலும் இயற்கையில் காணப்பட்டபோதிலும், எந்தப் பொருளானது மிகச் சிறிய சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசையாலும் (shear force) பாயும் தன்மையைத் தொடர்ச்சியாக அடைகிறதோ அதையே பாய்மம் என வரையறுக்கிறோம். சாதாரணமாக, திடப் பொருளானது சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசை செயல்படும்போது தொடர்ச்சியாக வடிவ மாற்றம் (continuous deformation) அடைவதில்லையாதலால் அவைகள் பாய்ம வகையில் சேர்த்துக் கொள்ளப்படுவதில்லை. திடப் பொருள் சறுக்குப் பெயர்ச்சியால் திரிபு (strain) அடைகிறது ; கோண வடிவ மாற்றம் (angular deformation) அடைகிறது. ஆனால், அந்த வடிவ மாற்றமானது, மீட்சி எல்லைக்குள் (elastic limit) ஏற்பட்டிருந்தால், அதற்குக் காரணமான விசை நீக்கப்பட்டவுடன் மறைந்துவிடும். ஆனால், பாய்மமானது சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசையால் அடையும் வடிவ மாற்றத்தை அந்த விசை செயல்படுவது நிறுத்தப்பட்ட பின்னரும் இழப்பதில்லை; அது தன் பழைய நிலையையும் இடத்தையும் திரும்ப அடைவதில்லை. திடப் பொருளானது சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசையை ஒய்வு நிலையில் எதிர்க்கும்; ஆனால், பாய்மமானது ஓய்வு நிலையில் உள்ளபோது எந்தவிதமான சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசைக்கும் உள்ளாவதில்லை. பாய்மமானது பாயும்போதே சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு (shear stress) ஏற்படுகிறது.

சில பாய்மங்களில் கோணவடிவ மாற்ற வீதம் (rate of angular deformation) சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவிற்கு நேர் விகிதத்தில் உள்ளது. இதில் விகித சமன் மாறிலி (constant of proportionality) அந்தப் பாய்மத்தின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலை

(dynamic viscosity) என அழைக்கப்படுகிறது. இப்படிப்பட்ட பாய்மமானது நியூட்டன் பாய்மம் (Newtonian fluid) என்றும், எந்தப் பாய்மத்தில் இந்தத் தொடர்பு நேரற்றதாக (non-linear) இருக்கிறதோ அதை நியூட்டன் பாய்மமல்லாதவை (non-Newtonian fluid) என்றும் வழங்குகிறோம். பிளாஸ்டிக், தேன் போன்றவைகள் நியூட்டன் பாய்மமல்லாத பிரிவைச் சேர்ந்தவை. வளர்ந்து வரும் பலவகைத் தொழிற் துறைகளில் பிளாஸ்டிக்குகள் அதிகமாகப் பயன்படுவதால் இதன் தன்மைகளைப்பற்றி ஆராயும் துறை ரியாலஜி (rheology) என வழங்கப்படுகிறது. பல பொருள்



படம் 1·1. பொருள்களின் கோணவடிவ மாற்றம், சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு இவற்றிற்குள்ள தொடர்பு

களின் கோணவடிவ மாற்றத்திற்கும், சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவிற்குமுள்ள தொடர்பு படம் 1·1-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த நூலில் நியூட்டன் பாய்மங்களைப்பற்றி மட்டும் படிப்போம்.

எல்லாத் திரவங்களும் வாயுக்களும் மிகச் சிறிய சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசையாலும் தொடர்ச்சியாக வடிவ மாற்றமடைவதால் அவைகளைப் பாய்மம் எனலாம். சில பொருள்கள் திடநிலையில் பாய்மத் தன்மையுடையனவாக இருந்தபோதிலும், இந் நூலின்கண் இனி திரவங்களையும் வாயுக்களையும் மட்டுமே பாய்மம் எனக் கருதுவோம்.

1·3. திரவங்களும் வாயுக்களும் (Liquids and Gases)

ஒரு திரவமானது திட்டவட்டமான பருமனையும், அது தான் இருக்கும் கலத்தின் அமைப்பையு முடையது. அது தன் அளவிற் கேற்ப கலம் முழுவதையுமோ பகுதியையோ நிரப்பும். திரவத்திற்குக் கட்டற்ற புறப்பரப்பு (free surface) உண்டு. ஆனால், வாயுவிற்கோ திட்டவட்டமான பருமன் கிடையாது; தான் இருக்கும் கலம் முழுவதும் பரவி இருக்கும்; அதற்கெனக் கட்டற்ற புறப்பரப்பு ஒன்று கிடையாது. திரவத்தின் பருமன் வெப்ப, அழுத்த வேறுபாடுகளால் வெகு குறைந்த அளவிலேயே பாதிக்கப் படுகிறது; நடைமுறையில் இந்த மாற்றம் புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு குறைவாக இருப்பதால் திரவமானது அமுக்கமற்றதாகக் (incompressible) கருதப்படுகிறது. ஆனால் வாயுவோ வெப்ப, அழுத்த வேறுபாடுகளால் பருமனில் பெருமளவு மாற்றத்திற்குட் படுகிறது. ஆகவே, அதை அமுக்கப் பாய்மம் (compressible fluid) என்கிறோம்.

1·4. தொடர்மம் (Continuum)

ஒரு பாய்மமானது எண்ணற்ற மூலக்கூறுகளால் ஆனது. அதில் எந்த இரண்டு மூலக்கூறுகளும் வெற்றிடத்தால் பிரிக்கப் பட்டுள்ளன. ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுள்ள திரவத்தில் அதே கன அளவுள்ள வாயுவைவிட மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை மிக மிக அதிகம். வாயுக்களைவிட திரவங்களில் மூலக்கூறிடைத் தூரம் (inter-molecular distance) மிகக் குறைவாதலால், திரவத்தின் பருமனை மாற்ற உயர்ந்த அளவு விசை தேவைப்படுகிறது. ஆனால், வாயுவின் பருமனைக் குறைந்த அளவு விசையாலேயே மாற்றி விடலாம். மூலக்கூறுகள் எப்போதும் இயக்கம் உடையதால் அங்குமிங்கும் நகர்ந்துகொண்டே இருக்கின்றன. அவைகளுக் கிடையேயுள்ள ஈர்ப்பு விசையே (attractive force) ஒன்றை விட்டு ஒன்று பிரிந்துபோகாதிருக்கச் செய்கிறது. இந்த மூலக் கூறுகளின் இயக்கம் வெப்பநிலை உயர்வால் அல்லது அழுத்தக் குறைவால் அதிகப்படுகிறது.

மூலக்கூறுகளிடையேயுள்ள விசையின் அளவு திடப் பொரு ளில் திரவப் பொருளைவிட வெகு அதிகமாக இருப்பதால், வடிவ மாற்றம் செய்வதற்குத் திடப்பொருளில் திரவத்தைவிட அதிக சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு தேவைப்படுகிறது. வடிவ மாற்ற மானது விசை செயல்படும் காலம் வரை தொடர்ச்சியாக நடந்து கொண்டே இருக்கிறது.

மூலக்கூறின் இயக்கத்தை நம்மால் திட்டவட்டமாக நிர்ண யிக்க முடியாது. ஒரு தனி மூலக்கூறின் இயக்கத்தை ஆராய்தல்

கடினம். பொறியியற் துறை நடைமுறைத் தேவைகளுக்கு இது பற்றிய திட்டவட்டமான அறிவு தேவையுமன்று. ஆகவே, நாம் இரண்டு மூலக்கூறுகளிடையே வெற்றிடம் இல்லை என்று கொள்வோம். எல்லா இடமும் மூலக்கூறுகளால் நிரம்பியிருப்பதால் பாய்மமானது ஓர் இடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்திற்குப் பாயும்போது மூலக்கூறுகள் தொடர்ச்சியாக இருக்கின்றன என எடுத்துக் கொள்ளப்படும். ஆகவே, பாய்மத்தைத் தொடர்மம் என அழைக்கிறோம். அடர்குறைவான (rarefied) பாய்ம ஓட்டத்தைத் தவிர மற்ற பொறியியற் சம்பந்தப்பட்ட நிலைகளுக்குப் பாய்மத்தைத் தொடர்மமாகக் கொள்ளலாம். தொடர்மத்தில் பாய்மத்தின் குணங்களான திசைவேகம், முடுக்கம், அழுத்தம் ஆகியன தொடர்ச்சியாகக் காலத்தாலும் இடத்தாலும் மாறுபடுவதாக அல்லது மாறாததாகக் கொள்கிறோம்.

1·5. பௌதிகப் பண்புகள் (Physical Properties)

ஒரு பொருளானது ஒரு நிலையில் ஒரு குறிப்பிட்ட சூழலில் (condition) இருக்கும்போது காலத்தாலும் இடத்தாலும் மாறாமலிருக்கும் சிறப்பியல்புகளை அப்பொருளின் பண்புகள் என்கிறோம். இப் பகுதியின்கண் அழுத்தம் பற்றிய கோட்பாட்டின் விளக்கத்தினையும் அதனைத் தொடர்ந்து பாய்மங்களின் பல பண்புகளையும் பார்ப்போம்.

பொறியியற் துறையில் 'அழுத்தம்' என வழக்கமாகக் குறிப்பிடப்படுவது அழுத்தச் செறிவையே (pressure intensity) ஆகும். அதாவது, ஓர் அலகு பரப்பளவில் செயல்படும் விசையே அழுத்தம் எனப்படும். அழுத்தம் p என்று குறிக்கப்படும். அதன் பரிமாணம் (dimension) FL^{-2} அல்லது $ML^{-1}T^{-2}$ ஆகும். இதில் F விசையையும், M நிறையையும், L நீளத்தையும், T காலத்தையும் குறிக்கும். விசையைப்போலன்றி அழுத்தத்திற்குத் திசை கிடையாது. இதை மெட்ரிக் முறையில் கிலோகிராம் (விசை)/சதுர மீட்டர் என்றும் SI முறையில் நியூட்டன்/சதுர மீட்டர் (N/m^2) என்றும் வழங்குகிறோம்.

அழுத்தத்தை அளக்கும் எந்தக் கருவியும் இரண்டு இடங்களுக்கிடையேயுள்ள அழுத்த வேறுபாட்டைக் காட்டும். நம்மைச் சுற்றியுள்ள வளிமண்டல அழுத்தத்தின் அடிப்படையில் அளக்கப்படும் அழுத்தத்தை மானி அழுத்தம் (gauge pressure) என்கிறோம். அது வளிமண்டல அழுத்தத்தைவிட உயர்ந்திருந்தால் நேர்க்குறியுடையதாகவும் (positive), குறைவாயிருந்தால் எதிர்க்குறியுடையதாகவும் (negative) கொள்ளப்படும். ஓர் இடத்தின்

வளிமண்டல அழுத்தம், அந்த இடத்திலுள்ள மானி அழுத்தம் இவற்றின் கூட்டுத்தொகை தனி அழுத்த (absolute pressure) மாகும். முழுமையான வெற்றிடத்தின் அழுத்தம் சுழியாகும். வளிமண்டல அழுத்தம் இடத்திற்கிடம் சிறிது வேறுபடுகிறது. இயல்பான (normal) வெப்பநிலையில் 45° குறுக்குக் கோட்டில் (latitude) கடல் மட்டத்தில் வளிமண்டல அழுத்தம் 1·033 கிகி/செமீ² அல்லது 101·325 கிலோ நியூட்டன்/சதுர மீட்டர் ஆகும். 10^5 நி/மீ² அல்லது 100 கிநி/மீ² என்பது ஒரு பார் (bar) என்றும், அதில் ஆயிரத்தில் ஒரு பங்கு மில்லிபார் (millibar) என்றும் வானிலையியலில் வழக்கத்திலிருக்கிறது.

வளிமண்டல அழுத்தத்திற்குக் குறைவான அழுத்தங்களை எதிர் மானி அழுத்தங்களாக அல்லது தனி அழுத்தங்களாக எழுதலாம்.

அழுத்தமானது பாய்மத்தின் உயரத்தாலும் குறிக்கப்படலாம். நீரியலில் இவ்வாறு சாதாரணமாக வழங்கப்படுகிறது. படித்தர (standard) வளிமண்டல அழுத்தமானது 10 மீ. தூய நீரின் உயரத்திற்குச் சமமாகும்.

1·6. அடர்த்தி (Density), ஒப்பு அடர்த்தி (Relative Density), நிறையலகு பருமன் (Specific Volume), அலகு பருமனெடை (Specific Weight)

நிறையானது சீராகப் பங்கிடப் பெற்றிருக்குமானால் ஒரு பொருளில் நிறைக்கும் அதன் பருமனுக்குமுள்ள விகிதம் அந்தப் பொருளின் சராசரி அடர்த்தி அல்லது அடர்த்தி ஆகும். இதை ρ என்று குறியிடுகிறோம். இது ஒரு பொருளின் ஒரு அலகு பருமனின் நிறையைக் குறிக்கும். இதையே கணித முறைப்படி

$$\rho = \underset{\Delta \forall \to 0}{\text{வரம்பு}} \frac{\Delta M}{\Delta \forall}$$

என்கிறோம். இதில் ΔM என்பது $\Delta \forall$ பருமனின் நிறையாகும். இதன் பரிமாணம் M/L^3 ஆகும். நிறையானது கிலோகிராமிலும், பருமன் கன மீட்டரிலும் இருந்தால், அடர்த்தி கிலோகிராம்/கனமீட்டர் (kg/m³) என்று குறிக்கப்படும். தூய நீரானது 4°C வெப்பநிலையில் படித்தர வளிமண்டல அழுத்தத்தில் 1000 கிகி/மீ³ அல்லது 1 டன்/மீ³ இருக்கும்.

ஒப்பு அடர்த்தியானது ஒரு பொருளின் நிறைக்கும், அதே பருமனளவுள்ள 4°C வெப்பநிலையில் படித்தர வளிமண்டல

அழுத்தத்திலுள்ள தூய நீரின் நிறைக்குமுள்ள விகிதமாகும். ஒரே அலகுள்ள இரண்டு எண்களின் விகிதமாதலால் இது ஒரு பரிமாண மற்ற எண்ணுகும் (dimensionless number). இதை S என்று குறிக்கிறோம்.

v என்ற குறியீட்டால் குறிக்கப்படும் நிறையலகு பருமன் அடர்த்தியின் தலைகீழ் மதிப்பாகும். ஆகவே, அதன் பரிமாணம் L^3/M ஆகும்.

$$v = \frac{1}{\rho}$$

w என்ற குறியீட்டால் குறிக்கப்படும் அலகு பருமனெடை ஒரு பொருளின் எடைக்கும் அதன் பருமனுக்குமுள்ள விகிதமாகும். w என்பது ஒரு பொருளின் ஒரு அலகு பருமனின் எடையாகும். பொருளின் எடையானது அந்தப் பொருளின் நிறைக்கும் புவி யீர்ப்பினுல் ஏற்படும் முடுக்கத்திற்குமுள்ள பெருக்கல் தொகைக்குச் சமமாகும். புவியீர்ப்பு முடுக்கமான g இடத்திற்கு இடம் சிறிது மாறுபடுமாதலால், பொருளின் எடையும் இடத்திற்கு இடம் மாறு படும்.

$$w = \rho g$$

இதன் பரிமாணம் F/L^3 அல்லது $ML^{-2}\ T^{-2}$ எடையானது கிகி/மீ^{3}-லும் புவியீர்ப்பு முடுக்கமானது மீ/வி^{2}-யிலும் எழுதப்பட்டால் எடையின் அலகு SI முறையில் நி/மீ^{3} ஆகும். மெட்ரிக் முறையில் கிகி (விசை) / மீ^{3} ஆகும். 4°C வெப்பநிலையில் தூய நீரின் எடை 9·81 கிநி/மீ^{3} அல்லது 1 டன்/மீ^{3} ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 1·1. ஒரு லிட்டர் பெட்ரோல் 7·02 நி எடையுள்ளது. அதன் அடர்த்தி, ஒப்பு அடர்த்தி, நிறையலகு பருமன், அலகு பருமனெடை இவற்றைக் கணக்கிடுக.

$$w = 7{\cdot}02 \times 1000 = 7{\cdot}02 \text{ கிநி/மீ}^3$$

$$\rho = \frac{7{\cdot}02 \times 1000}{9{\cdot}81} = 716 \text{ கிகி/மீ}^3$$

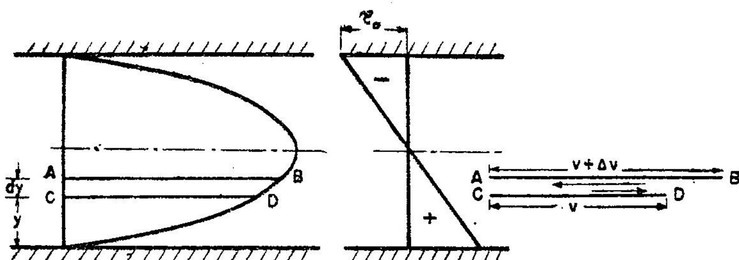
$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{716} = 1{\cdot}395 \times 10^{-3} \text{ மீ}^3\text{/கிகி.}$$

$$S = \frac{7{\cdot}02}{9{\cdot}81} = 0{\cdot}716.$$

1·7. பாகுநிலை அல்லது பாகுத்தன்மை (Viscosity)

ஒரு மெய்ப் பாய்மத்தின்மீது ஒரு சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசை செயல்பட்டால் அது கோணவடிவ மாற்றமடையும் அல்லது அடைய

முயலும். அதாவது பாய்மத்தின் பல்வேறு படலங்களும் வெவ் வேறு அளவில் பெயர்ச்சியடைகின்றன. இக் கோணவடிவ மாற்ற மானது அவ்விசை தொழிற்படுகின்ற வரையிலும் தொடர்ந்து ஏற் படும். சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசை நீக்கப்பட்டால் பாய்மத்தின் துகள்கள் தம்முடைய புதிய இடங்களிலேயே இருக்குமேயன்றி தம்முடைய பழைய நிலைகளுக்குத் திரும்பா. கோணவடிவ மாற் றத்தை எதிர்க்கும் ஆற்றல் பாய்மத்திற்குப் பாய்மம் மாறுபடுகிறது. பாய்மத்தில் ஒரு படலம் அதனை அடுத்துள்ள படலத்தின் மீது நகர்வதனை எதிர்க்கும் இயல்புடைத்து என்பது தெளிவு. இவ்வாறு கோணவடிவ மாற்றத்தை எதிர்க்கும் இயல்பே பாய்மத்தின் பாகுநிலை எனப்படும். இது மெய்ப் பாய்மங்களின் முக்கிய பண் புகளில் ஒன்றாகும்.



படம் 1·2. திசைவேகப் பகிர்வு

ஒரு மெய்யான பாய்மம் இரண்டு இணைத் தளங்களுக்கிடையே ஓடுவதால் உண்டாகும் திசைவேகப் பகிர்வு (velocity distribution) படம் 1·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. AB, CD என்பன அடுத்தடுத் துள்ள இரண்டு தளங்களைக் குறிப்பதாகக் கொள்வோம். அந்த இரண்டு தளங்களுக்கிடையே உள்ள தூரம் Δy எனவும், அவற்றின் திசை வேகங்கள் முறையே $(u+\Delta u)$, u எனவும் கொள்வோம். AB என்ற தளம் CD என்ற தளத்தைவிடச் சிறிது அதிக திசை வேகமுடையதாக இருப்பதால், அது CDயுடன் உராய்ந்து கொண்டு வினாடிக்கு Δu தூரம் அதிகமாகப் போகிறது. இப்படி இரண்டு தளங்களும் வெவ்வேறு வேகங்களில் செல்வதால், அவற்றிற்கு இடையேயுள்ள உராய்வுப் பரப்பான a-யில் F என்ற சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசை உண்டாகிறது. இதனால் உண்டாகும் கோணவடிவ மாற்றம் D என்ற இடத்தில் திசைவேகச் சரிவுக்குச் சமமாகும். அதாவது,

$$\text{வரம்பு}_{\Delta y \to o} \frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{\partial u}{\partial y} \text{-க்குச் சமம்.}$$

திசைவேகமானது y திசையைத் தவிர மற்ற திசைகளிலும் மாறுபடுவதால், இங்கே பகுதி வகைக்கெழு (partial derivative) பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது.

1·8. இயக்கவிசைப் பாகுநிலை (Dynamic Viscosity)

நிலையான, சீரான பாய்ச்சலில் இரண்டு அண்டைத் தளங்களுக்கிடையில் ஏற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு அந்தத் தளங்களுக்கு நேர் குத்துத் திசையிலுண்டாகும் திசைவேகச் சரிவிற்கு (velocity gradient) நேர் விகிதத்திலிருக்கும் என்ற உண்மையை நியூட்டன் கண்டறிந்தார்.

$$\tau = \frac{F}{a} \propto \frac{\partial u}{\partial y}$$

ஆகவே,

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} \qquad (1·1)$$

இதில் μ (மியூ) என்ற கிரேக்க எழுத்து விகித மாறிலியாகும். அது பாய்மத்தின் இயக்கப் பாகுநிலையைக் குறிக்கும். இந்தச் சமன்பாடு நியூட்டன் இயக்கப் பாகுநிலை விதி (Newton's law of viscosity) என அழைக்கப்படுகிறது. இந்தச் சமன்பாட்டிற்கு உட்பட்ட எந்த பாய்மமும் நியூட்டன் பாய்மம் எனப்படும்.

திசைவேகச் சரிவின் குறியைப் பொறுத்து சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசை செயல்படுகின்ற திசை மாறுபடுகிறது. திசைவேகத்தின் திசையில் சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசையிருந்தால் அதை நேர்க் குறியாலும், எதிர்த் திசையிலிருந்தால் எதிர்க் குறியாலும் குறிக்கின்றோம். சமன்பாடு 1·1-ல் τ என்ற தகைவு CD என்ற படலத்தில் செயல்படுகிறது.

மேலேயுள்ள சமன்பாட்டிலிருந்து $\frac{\partial u}{\partial y}$ ன் மதிப்பு சுழியாகும் போது τ-ன் மதிப்பும் சுழியாகும். ஆகவே, எங்கு திசைவேகமானது சீராக இருக்கிறதோ அங்கு சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு சுழியாகும். சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு வரம்பிலியாக (infinite) இருக்க முடியாததால் $\frac{\partial u}{\partial y}$-ன் மதிப்பும் வரம்பிலியாக இருக்க முடியாது. ஆகவே, திசைவேகச் சரிவானது படிப்படியாக மாற வேண்டும். பாய்மம் பாயும் அமைப்பின் எல்லைகள் (boundaries) நிலையானதாக இருக்குமானால், அதை ஒட்டியுள்ள பாய்மமும் நிலையானதாக, அதாவது, திசைவேக மற்றதாக இருக்கவேண்டும். எல்லையின் திசைவேகம் U-ஆக இருக்குமானால் அதையொட்டிய பாய்மத்தின் திசைவேகமும் U-ஆக இருக்க வேண்டும். இந்த

நிலையானது எல்லா மெய்ப் பாய்ம பாய்ச்சல்களுக்கும் உண்மையாக இருக்கும். இந்த நிபந்தனைக்கு வழுக்கலின்மை நிபந்தனை (no slip condition) எனப் பெயர்.

அண்மையிலுள்ள இரண்டு படலங்களுக்கிடையே ஒரு ஒப்பு இயக்கம் இருக்கும்போதுதான் ஒரு பாய்மத்தின் பாகுநிலை வெளிப்படுகிறது. நிலையான பாய்மத்திலும், சுழலற்ற பாய்ச்சலிலும் (irrotational flow) சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசை உண்டாவதில்லை. ஆகவே, நிலை நீரியல், சுழலற்ற பாய்ச்சல் பற்றிய படிப்புகளில் நேர்க்குத்தான விசைகளை மட்டும் எடுத்துக் கொண்டால் போதும். சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசைகளைப்பற்றிக் கருதத் தேவையில்லை.

மெய்ப் பாய்மப் பாய்ச்சலில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்புக்குக் காரணம் பாகுநிலையே யாகும். படலமானது ஒன்றுக்கொன்று நகர்வதால் ஏற்படும் எதிர்ப்பு விசைகளுக்கு எதிராக ஆற்றல் செயல்பட வேண்டியதிருப்பதால் இழப்பு ஏற்படுகிறது. இந்த ஆற்றலிழப்பு கடைசியில் வெப்பமாக மாறி வளிமண்டலத்தில் கலக்கிறது. இது பாய்மத்திற்கு திரும்பக் கிடைக்கக்கூடிய (non-recoverable)தன்று. இந்த இழப்பையே பொதுவாக உராய்வு இழப்பு (frictional loss) அல்லது புறப்பரப்பு உராய்வு இழப்பு (skin friction loss) என அழைக்கிறோம். பல்வேறு பொறியியல் அமைப்புபற்றிய கணக்கீடுகளில் எளிதாகவும் விரைவாகவும் விடையைக் காண இவ்வுராய்வு விசையினைப் புறக்கணித்துவிடுவது வழக்கம்.

பலதரப்பட்ட வெப்பநிலைகளிலும் அழுத்தத்திலும் ஒரு பாய்மத்தின் பாகுநிலை மாறுபாட்டிற்கான காரணம் என்ன என்பது இன்னும் சரியாகக் கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை. பாய்மத்தின் மூலக்கூறுகளின் உந்தப் பெயர்வும் (momentum transfer), மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயுள்ள தானிணையுந் தன்மையும் (cohesion) பாகுநிலைக்குக் காரணங்கள் என ஊகிக்கப்படுகின்றன. மிக உயர்ந்த அல்லது மிகத் தாழ்ந்த வெப்பநிலைகளைத் தவிர, மற்ற இடங்களில் வெப்பநிலை அதிகரித்தால் எல்லா வாயுக்களின் பாகுநிலையும் அதிகரிக்கின்றது. ஆனால், திரவங்களின் வெப்பநிலை அதிகரிக்க, பாகுநிலை குறைகிறது. இதற்குக் காரணம் மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயுள்ள தானிணையுந்தன்மை வெப்பத்தால் குறைவதேயாகும். வாயுக்களில் உந்தப் பெயர்வே முக்கிய பங்கு வகிப்பதால், வெப்பத்தால் பாகுநிலை அதிகரிக்கிறது. பொதுவாக, பொறியியற் துறையில் நடைமுறைகளில் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாட்டால் இயக்கவிசைப் பாகுநிலை மாறுபடுவதில்லை.

இயக்கவிசைப் பாகுநிலையின் பரிமாணமானது சமன்பாடு 1·1-ன்படி,

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{\partial u}{\partial y}} = \frac{F/L^2}{\frac{L}{T}\cdot\frac{1}{L}} = FL^{-2}T$$

இதையே M, L, T ஆகியவற்றால் எழுதினால்,

$$\mu = ML^{-1}T^{-1}$$

செமீ-கி-வி (C.G S.) மெட்ரிக் முறையில் விசையானது டைன் (dyne) என்ற அளவால் வழங்கப்படுவதால், இயக்கவிசைப் பாகுநிலையின் அலகு டைன்-விநாடி/ச. செமீ. ஆகும். இதை பிரான்சு நாட்டு விஞ்ஞானி பாய்ஸேயீ (Poiseuille) என்பவரின் நினைவாக 'பாய்ஸ்' என்று வழங்குகிறோம். ஒரு பாய்ஸ் என்பது நடைமுறையில் உயர்ந்த அளவாக இருப்பதால், இதில் நூறில் ஒரு பங்கான சென்டி பாய்ஸ் பழக்கத்தில் உள்ளது. SI முறையில் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையின் அலகு நியூட்டன்-விநாடி/சதுர மீட்டர் என்று வழங்கப்படவேண்டுமானாலும், பாய்ஸ் பழக்கத்திலிருப்பதால் அதையே கையாளலாம் என தீர்மானிக்கப் பட்டிருக்கிறது. நி-வி/மீ^{2} என்பது பாய்ஸை விடப் பத்து மடங்கு அதிகமாகும்.

நி-வி/மீ^{2} = 10 பாய்ஸ்

1·9. இயக்கப் பாகுநிலை (Kinematic Viscosity)

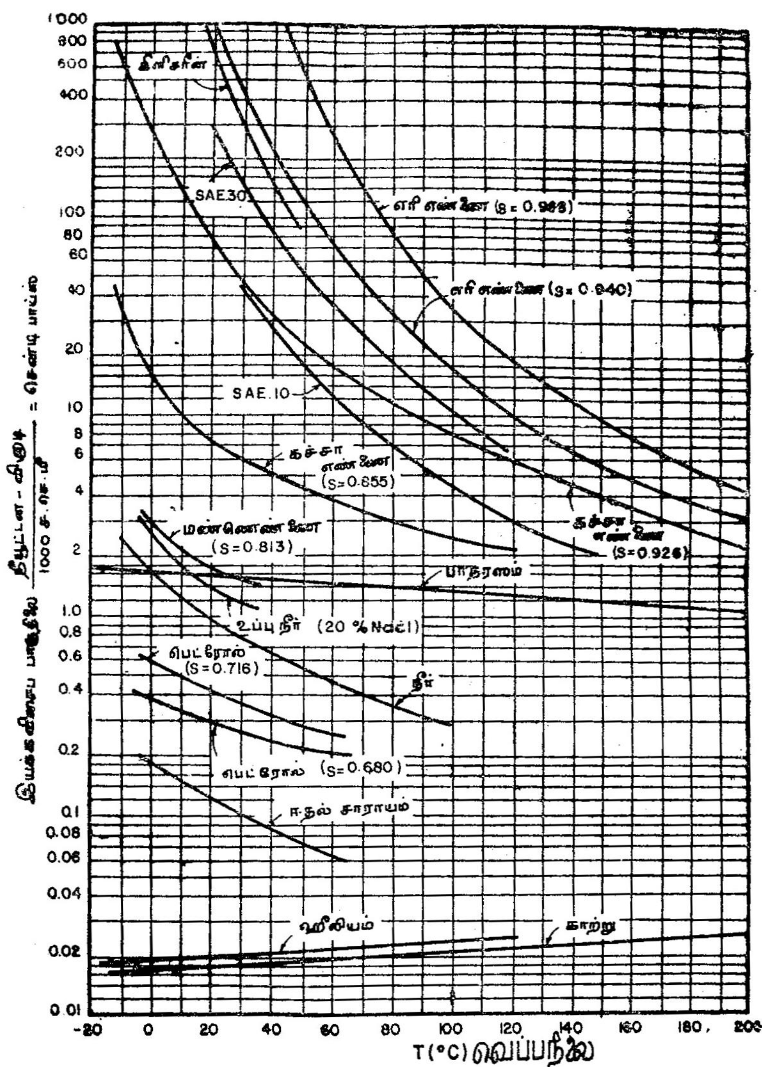
இயக்கவிசைப் பாகுநிலைக்கும் அடர்த்திக்குமுள்ள விகிதம் இயக்கப் பாகுநிலை என அழைக்கப்படுகிறது. இதை ν (நூ) என்ற கிரேக்க எழுத்தால் குறிப்பது வழக்கம்.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

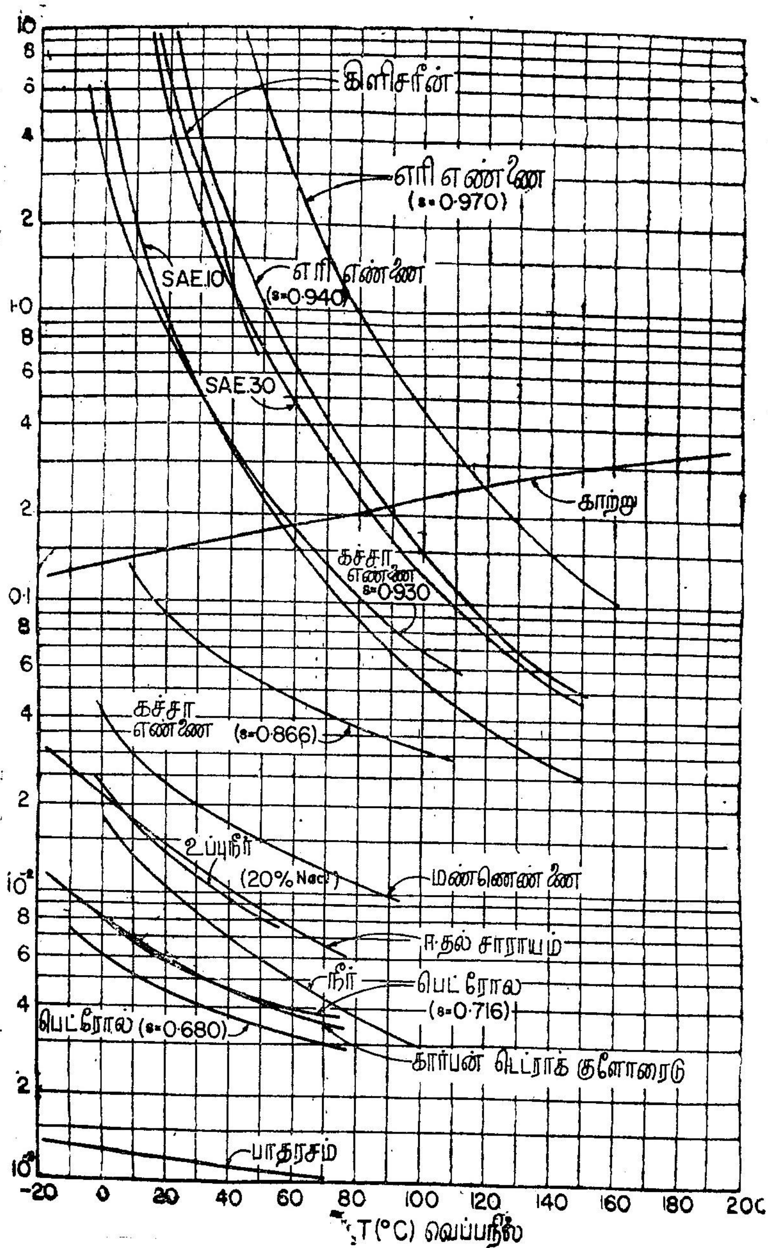
இவ் விகிதமானது (μ/ρ) பொறியியற் துறையில் பாகுநிலை விளைவுகளுக்கும் சடத்துவ விளைவுகளுக்கும் (inertial effects) இடையேயுள்ள தொடர்பினைக் குறிக்கும் ஒன்றாக அடிக்கடி பயன் படுவதால் இதனையும் ஒரு தனி அளவாக, அதாவது, இயக்கப் பாகுநிலை என்ற ஒன்றாக வரையறுத்துள்ளார்கள். இதன் பரிமாணம் L^2T^{-1} என்பது தெளிவு.

செமீ-கி-வி முறையில் இயக்கப் பாகுநிலையானது செமீ^{2}/வி எனக் குறிக்கப்படுகிறது. இதையும் ஸ்டோக்ஸ் (Stokes) என்ற ஆங்கிலேய விஞ்ஞானியின் நினைவாக 'ஸ்டோக்ஸ்' என்று

வழங்குகிறோம். இதன் மதிப்பில் நூறில் ஒருபங்கு சென்டி ஸ்டோக்ஸ் ஆகும். SI முறையிலும் ஸ்டோக்ஸ் என்ற அளவு பழக்கத்திலுள்ளது. மீ²/வி என்ற அளவு 10^4 ஸ்டோக்ஸ்களுக்குச் சமமாகும்.



படம் 1·3. இயக்கவிசைப் பாகுநிலை



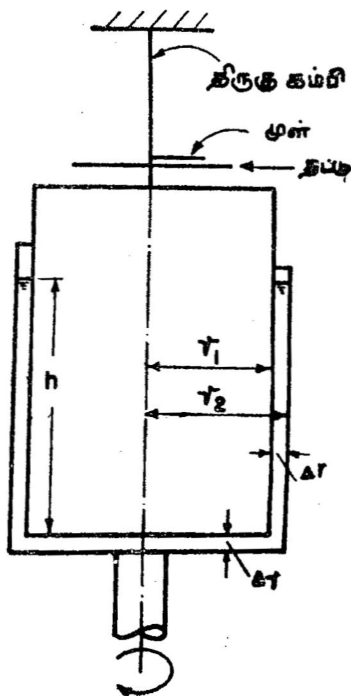
படம் 1·4. இயக்கப் பாகுநிலை

இயக்கவிசை, இயக்கப் பாகுநிலைகளின் மதிப்புகள் பல்வேறு வெப்பநிலைகளுக்கு படங்கள் 1·3-லும் 1·4-லும் காட்டப் பட்டுள்ளன.

1·10. இயக்கவிசைப் பாகுநிலையை அளத்தல்

ஒரு பாய்மத்தின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையை நேரடியாகக் கண்டறிய வழிகள் இல்லை. நியூட்டன் பாகுவிதி, குழாய்களில் படலப் பாய்ச்சலுக்கான (laminar flow) பாய்ஸேயீன் சமன்பாடு, பாய்மத்தில் மிக மெதுவாகப் போகும் சிறிய கோளங்களில் (spheres) ஏற்படும் இழுப்பு விசைக்கான (drag force) ஸ்டோக்ஸ் சமன்பாடு முதலியவற்றின் உதவியாலேயே நாம் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையின் மதிப்பைக் கண்டறிய வேண்டி இருக்கிறது.

சுழலும் பாகுநிலைமானி (Rotary Viscometer) : ஒரு சுழலும் பாகு நிலைமானியின் அமைப்பு படம் 1·5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையை அளக்க நியூட்டன் பாகுநிலை விதி பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஓரச்சு உருளைகள் இரண்டிற்கும் இடையிலுள்ள பாகம் எந்தத் திரவத்தின் பாகுநிலையை அறிய வேண்டுமோ அதனால் நிரப்பப்பட வேண்டும். வெளி உருளை ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத்திசை வேகத்தில் (angular velocity) சுற்றப்படு கிறது. வெளி உருளையை ஒட்டியுள்ள திரவமும் அதே வேகத்தை உடைத்தாக இருக்கும். உள் உருளையின் மீது ஒரு சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசையானது திசை வேகச் சரிவால் ஏற்படுகிறது. அவ்விசையால் உண்டாகும் இரட்டைத் திருப்புதிறனை (torque) அந்த அமைப்பின் மேலுள்ள அளவுமானியால் அளக்கலாம்.



படம் 1·5.
சுழலும் பாகுநிலைமானி

இந்த அமைப்பில் $\frac{h}{r}$ என்ற விகிதத்தின் மதிப்பு உயர்வாக இருந்தால் அடிப்பக்க விளைவுகளை நாம் புறக்கணிக்கலாம்.

உள் உருளையில் ஏற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவானது,

$$\tau = \frac{T}{r_1 \times A}$$

இதில் T இரட்டைத் திருப்புதிறனையும், A உள் உருளையின் வெளிப் பரப்பையும் குறிக்கும். இரண்டு உருளைகளுக்கு மிடையே யுள்ள ஒப்பு இயக்கம் (relative movement) $\frac{dv}{dr} = \frac{v}{\Delta r}$ ஆகும். இதில் v என்பது வெளி உருளையின் ஓரத் திசைவேகத்தைக் (peripheral velocity) குறிக்கும். ஆகவே, இயக்கவிசைப் பாகு நிலையை

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{v}{\Delta r}}$$

என்ற சமன்பாட்டிலிருந்து கணிக்கலாம். Δr என்ற இடைவெளி யானது (gap) அப்பகுதியில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவின் மாற்றம் புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு சிறியதாக இருக்க வேண்டும். ஏனெனில், மேலேயுள்ள சமன்பாடுகள் படலப் பாய்ச்சலுக்கு மட்டுமே பொருந்தும்.

நுண்துளைக் குழாய் பாகுநிலைமானி (Capillary Tube Viscometer): நுண்துளைக் குழாயின் வழி பாயும் படலப் பாய்ச்சல் அடிப்படையில் நிர்மாணிக்கப்பட்டுள்ள பாகுநிலை மானிகள் எண்ணெய்களின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையை சோதனை மூலம் கண்டறிய தொழிலகங்களில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட பருமனளவு திரவமானது செங்குத்தான, குட்டையான நுண்துளைக் குழாய் ஒன்றின் வழியாக மேலேயுள்ள ஒரு பாத்திரத்தி லிருந்து கீழேயுள்ள மற்றொரு பாத்திரத்திற்குப் பாய விடப்படு கிறது. இதற்கான நேரம் அளக்கப்படுகிறது. பின்னர் பாய்ஸேயீ சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி திரவத்தின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலை கணிக்கப்படுகிறது.

பாய்ஸேயீ சமன்பாட்டின்படி,

$$V = \frac{\pi \rho g h d^4 t}{128 \mu l}$$

இதில் V பாயும் திரவத்தின் பருமனளவையும், ρ திரவத்தின் அடர்த்தியையும், h உயரத்தையும், d நுண்புழைக்குழாயின் விட்டத்தையும், t திரவம் பாய்வதற்கான நேரத்தையும், l நுண் துளைக் குழாயின் நீளத்தையும், μ இயக்கவிசைப் பாகுநிலையையும்

குறிக்கும். இதில் h-ன் மதிப்பு சோதனைக் காலத்தில் மாறிக் கொண்டே இருப்பதாலும், நுண்புழைக் குழாயின் நீளத்திற்குள் ஓட்டமானது முழுமை அடைந்திருக்காததாலும், அளவுதிருத்தம் (calibration) செய்தாலன்றி இந்த அமைப்பைப் பயன்படுத்த முடியாது. ரெட்வுட் (Redwood), சேபோல்ட் (Saybolt), எங்கிளர் (Engler) என்ற பலவகைப் பாகுநிலைமானிகள் அவற்றின் அளவு திருத்த வரைபடங்களுடன் கிடைக்கின்றன. அவைகளே தொழிலகங்களில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

விழும் வேகமுறை (Fall Velocity Method) : ஒரு திரவத்தில் கனமான சிறிய கோளம் ஒன்று மெதுவாக இறங்கும்போது அதன் மீது செயல்படும் எதிர்ப்பு இழுவிசையின் மதிப்பை ஸ்டோக்ஸ் என்ற விஞ்ஞானி கணக்கிட்டிருக்கிறார். அதாவது

$$F = 3\pi\mu vd$$

இதில் F எதிர்ப்பு இழுவிசையையும், μ இயக்கவிசைப் பாகு நிலையையும், v கோளத்தின் சீரான திசை வேகத்தையும், d கோளத்தின் விட்டத்தையும் குறிக்கும். ஒரு நீண்ட கண்ணாடிப் பாத்திரத்தில் பாகுநிலையின் மதிப்பைக் காணவேண்டிய திரவம் நிரப்பப்படுகிறது. ρ' அடர்த்தியும், d விட்டமுமுள்ள உலோகக் கோளத்தை திரவத்தின் மேற்பரப்பிலிருந்து மெதுவாக விடவும். அது சீரான திசைவேகத்தை அடைந்ததும், அது ஒரு குறிப்பிட்ட தூரத்தைக் கடக்க ஆகும் நேரத்தைக் கண்டறிந்து அதன் திசை வேகமான v-யைக் காணவும். அந்தக் கோளத்தில், அதன் எடையும், மிதவை விசையும் (buoyancy force), தடைவிசையும் செயல் படுகின்றன. முடுக்கமற்ற நிலையில் அதன் இரெயினல் எண் (Reynold's number) 0·1-க்குக் குறைவாக இருக்குமானல் திரவத் தின் அடர்த்தியை ρ என எடுத்துக்கொண்டு,

$$\frac{\pi}{6} d^3\rho' g = \frac{\pi}{6} d^3\rho g + 3\pi\mu vd$$

ஆகவே,

$$\mu = \frac{d^2(\rho'-\rho)\, g}{18v}$$

மாதிரிக் கணக்கு 1·2. ஒரு 80 மிமீ. விட்டமுள்ள உருளைக்கும் அதன் தாங்கி(bearing)க்கும் இடையேயுள்ள ஆரத்தூரம் (radial distance) 1 மிமீ. ஆகும். உருளை விநாடிக்கு 100 சுற்று சுற்றுகிறது. SAE 30 என்ற உயவு எண்ணெய் (lubricating oil) 30°C வெப்ப நிலையில் பயன்படுத்தப்பட்டால், சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவைக்

கணக்கிடு. (உருளை இடமாறுதிருப்பதாகக் கொள்ளவும்.) எண்ணெயின் பாகுநிலை 1 பாய்ஸ்.

$$\left.\begin{array}{r}30°C \text{ வெப்பநிலையிலுள்ள SAE 30-ன்} \\ \text{இயக்கவிசைப் பாகுநிலை}\end{array}\right\} = 1 \text{ பாய்ஸ்}$$

$$\text{உருளையின் ஓரத்திசை வேகம்} = \frac{\pi DN}{60} = \frac{\pi \times 0{\cdot}08 \times 100}{60}$$

$$= 0{\cdot}418 \text{ மீ/வி}$$

$$= 41{\cdot}8 \text{ செமீ/வி}$$

$$\text{கோண உருவமாற்ற வீதம்} = \frac{v}{\triangle y} = \frac{41{\cdot}8}{0{\cdot}1} = 418 \text{ வி}^{-1}$$

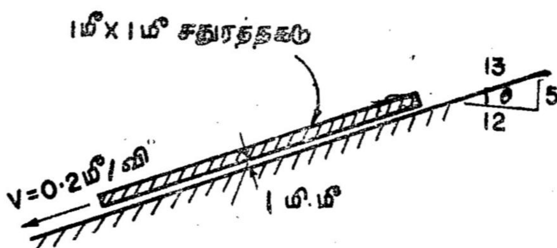
$$\text{சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு} \quad \tau = \mu \frac{dv}{dy} = 1 \times 418 \text{ டைன்/செமீ}^2$$

$$= 41{\cdot}8 \text{ நி/மீ}^2$$

மாதிரிக் கணக்கு 1·3. 1 மீ × 1 மீ சதுர வடிவமும் 392·4 நி எடையுமுள்ள தகடு ஒன்று 0·2 மீ/வி சீரான திசைவேகத்தில் ஓர் சாய்வு தளத்தில் நகருகிறது. சாய்வு தளம் 12 மடங்கு கிடை தூரத்திற்கு 5 மடங்கு செங்குத்தாக உயர்கிறது. அதன் அமைப்பு படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. தகட்டிற்கும் தளத்திற்கு மிடையேயுள்ள 1 மிமீ. தூரத்திலிருக்கும் உயவெண்ணெயின் இயக்க விசைப் பாகுநிலையைக் கணக்கிடு.

$$\left.\begin{array}{r}\text{தகட்டின் அடிப்புறத்திலுள்ள சறுக்குப்} \\ \text{பெயர்ச்சி விசையின் அளவு}\end{array}\right\} = 392{\cdot}4 \times \frac{5}{13}$$

$$\text{ஆகவே} \qquad \tau = \frac{392{\cdot}4 \times 5}{1 \times 13} = 151 \text{ நி/மீ}^2$$



$$V = 0{\cdot}2 \text{ மீ/வி}$$

$$\text{திசைவேகச் சரிவு} = \frac{v}{\triangle y} = \frac{0{\cdot}2}{0{\cdot}001} = 200 \text{ வி}^{-1}$$

$$\text{இயக்கவிசைப் பாகுநிலை} = \frac{151}{200} \text{ நி-வி/மீ}^2$$

$$= 7{\cdot}55 \text{ பாய்ஸ்}$$

மாதிரிக் கணக்கு 1·4. படம் 1·5-லுள்ள சுழலும் பாகுநிலை மானியின் அடிப்புறத்திலுள்ள இடைத்தூரமும் Δr என்றால், உள் உருளையில் செயல்படும் மொத்த இரட்டைத் திருப்புதிறன் என்ன ?

உள் உருளையின் ஓரத் திசைவேகம் $= v_1 = \omega r_1$

இரு உருளைகளுக்கிடையிலுள்ள தூரம் $= \Delta r = r_2 - r_1$

உள் உருளையின் புறப்பரப்பில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு $= \mu \dfrac{v}{\Delta r} = \mu \dfrac{\omega r_1}{\Delta r}$

செங்குத்தான புறப்பரப்பிலுண்டாகும் இரட்டைத் திருப்புதிறன் $= 2\pi r_1 h \dfrac{\mu \omega r_1}{\Delta r} \times r_1$

ஆகவே, $$T_1 = 2\pi r_1{}^3 h \mu \frac{\omega}{\Delta r}$$

அடிப்பாகத்திலுண்டாகும் இரட்டைத் திருப்புதிறனைக் கணக்கிட, அடிப்பாகத்தில் ஒரு சிறு சுற்றுப் பரப்பை எடுத்துக்கொள்ளவும். மையத்திலிருந்து x ஆர தூரத்தில் dx அகலமுள்ள வளையப் பரப்பில்

$$dT_2 = 2\pi x dx \times \frac{\mu \omega x}{\Delta r} \times x$$

$$T_2 = \int_0^{r_1} dT_2 = \frac{2\pi \mu \omega}{\Delta r} \int_0^{r_1} x^3 dx$$

$$= \frac{\pi \mu \omega r_1{}^4}{2\Delta r}$$

மொத்த இரட்டைத் திருப்புதிறன் $= T_1 + T_2$

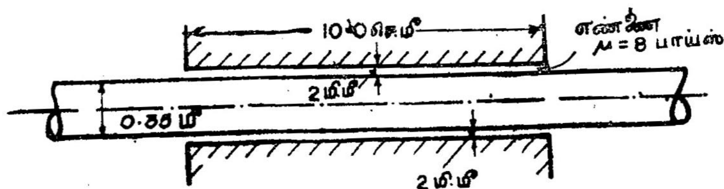
$$= \frac{\pi \mu r_1{}^3 \omega}{\Delta r}\left(2h + \frac{r_1}{2}\right)$$

மாதிரிக் கணக்கு 1·5. 0·35 மீ. விட்டமுள்ள ஒரு உருளை அதன் உறை(sleeve)க்குள் நிமிடத்திற்கு 200 சுற்று சுற்றுகிறது. அதன் அமைப்பு படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. உயவெண்ணெயின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலை 8 பாய்ஸ். இந்தத் தாங்கியில் உண்டாகும் ஆற்றலிழப்பை கிலோவாட்டுகளில் கணக்கிடுக.

உருளையின் ஓரத் திசைவேகம் $v = \dfrac{\pi DN}{60}$

$= \dfrac{\pi \times 0{\cdot}35 \times 200}{60}$

$= 3{\cdot}67$ மீ/வி



திசைவேகச் சரிவு $= \dfrac{v}{\Delta r} = \dfrac{3{\cdot}67}{0{\cdot}002} = 1835$ வி$^{-1}$

சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு $= 0{\cdot}8 \times 1835$

$= 1470$ நி/மீ^{2}

மொத்த இரட்டைத் திருப்பு திறன் $= \dfrac{\pi \times 0{\cdot}35^2 \times 0{\cdot}1 \times 1470}{2}$

$= 283$ நி/மீ

திறன் (power) T_w $= \dfrac{283 \times 2\pi \times 200}{60}$

$= 5940$ நி-மீ/வி.

$= 5{\cdot}94$ கி.வா.

1·11. வெப்ப இயக்கவியலின் பண்புகள் (Thermodynamic Properties)

பாய்ம ஓட்டத்தில் எங்கு வெப்பம், அமுக்கம், வெப்பப் பரிமாற்றம் முதலியன நிகழ்கின்றனவோ அங்கெல்லாம் வெப்ப இயக்கவியல் பற்றிய பண்புகளை நாம் சேர்த்து அறிய வேண்டியிருக்கும். எல்லாப் பொருள்களையும் அமுக்க முடியும். ஆனால் திட, திரவப் பொருள்களில் அழுத்தத்தால் ஏற்படும் அடர்த்தி வேறுபாடு மிகக் குறைவாக இருப்பதால் அவைகள் அமுக்கமற்ற பாய்மங்களாகக் (incompressible fluids) கருதப் படுகின்றன. வாயுக்களின் அடர்த்தி அழுத்தத்தால் அதிக வேறு பாடு அடைவதால் அவற்றை அமுக்கப் பாய்மங்கள் என்கிறோம். எல்லா வாயுக்களுக்கும் பொருந்துகின்ற வாயுக்களது வெப்பநிலை, அழுத்தம், அடர்த்தி ஆகியவற்றிற்கிடையேயான எளிய தொடர்பு

ஏதுமில்லை. ஆனால், நிறைவுடை வாயுக்(perfect gas)களுக்கு இது சம்பந்தமாக எளிய தொடர்புகள் இருக்கின்றன. காற்று போன்ற நாம் அடிக்கடி கையாளும் வாயுக்கள் சாதாரண வெப்ப தட்பநிலை அழுத்தங்களில் நிறைவுடை வாயு போன்று நடந்து கொள்வதால் நாம் இப்பகுதியில் நிறைவுடை வாயுக்களின் பண்புகளைப் பார்ப்போம்.

1·12. நிறைவுடை வாயு (Perfect Gas)

கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டின்படி ஒழுகும் எந்த வாயுவும் நிறைவுடை வாயு என வரையறுக்கப்படும்.

$$p = \rho RT \tag{1·4}$$

இதில் p தனி அழுத்தத்தையும் (absolute pressure), ρ அடர்த்தியையும், T தனி வெப்பநிலையையும், R வாயு மாறிலி (gas constant) யையும் குறிக்கும். இது நிறைவுடை வாயுவின் நிலைச் சமன்பாடு (equation of state) என அழைக்கப்படுகிறது. மிக உயர்ந்த வெப்ப நிலைகளையும், அழுத்தங்களையும் தவிர்த்து மற்ற நிலைகளில் வாயுக்கள் இந்தத் தொடர்புக்கு இணைந்தே இருக்கின்றன.

R-ன் பரிமாணத்தை SI முறையில் சமன்பாடு 1·4-லிருந்தே நாம் அடையலாம்.

$$R = \frac{p}{\rho T} = \frac{\text{நி}/\text{மீ}^2}{\text{கிகி}/\text{மீ}^3\ ^\circ\text{கெ}} = \frac{\text{நி.மீ}}{\text{கிகி-கெ}}$$

$$= \frac{\text{ஜூல்}}{\text{கிகி-கெ}}$$

காற்றிற்கு R-ன் மதிப்பு 287 ஜூல்/கிகி-கெ ஆகும். சமன்பாடு 1·4-லிருந்து வெப்பநிலை மாறுபாடு அல்லது அழுத்த மாறுபாடு இவைகளால் அடர்த்தியானது மாறும் எனத் தெரிகிறது. இம் மாற்றமானது வெப்பப் பரிமாற்றம் இல்லாது ஒரே வெப்பநிலையில் ஏற்படுமானால் அத்தகைய மாற்றத்திற்கு வெப்பநிலை மாறுமுறை (isothermal process) எனப் பெயர். அப்போது அழுத்தத்திற்கும் அடர்த்திக்குமுள்ள தொடர்பு

$$\frac{p}{\rho} = \text{மாறிலி} \tag{1·5}$$

வெப்பமானது வாயுவிற்கு வருதலோ அல்லது வாயுவிலிருந்து வெளிச் செல்லுதலோ இல்லாத நிலையில் அடர்த்தி மாறுபாடு ஏற்படுமானால் அதற்கு வெப்ப மாற்றீடற்ற முறை (adiabatic process) எனப்படும். இதோடு வாயுவில் தடைகளாலும் மற்ற இழப்புகளாலும் வெப்பமானது உண்டாகாமல் இருக்குமானால்

அதற்குத் தடையற்ற வெப்ப மாற்றீடற்றமுறை (isentropic process) எனப் பெயர். இந்த முறையில்

$$\frac{p}{\rho^k} = \text{மாறிலி} \qquad (1\cdot6)$$

இதில் k என்பது ஒரே அழுத்த வெப்ப எண்ணுக்கும் (specific heat at constant pressure) ஒரே பருமன் வெப்ப எண்ணுக்கும் (specific heat at constant volume) உள்ள விகித மாகும். காற்றுக்கு k-ன் மதிப்பு 1·4 ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 1·6. ஒரு வாயு 30°C வெப்பநிலையில் 14·7 நி/மீ³ எடையும் 196·2 கிநி/மீ² தனி அழுத்தத்தையும் உடையது. அதன் வாயு மாறிலி, அடர்த்தி இவற்றின் மதிப்புகள் யாவை?

$w = 14\cdot7$ நி/மீ³

$p = 196\cdot2$ கிநி/மீ²

$T = 273 + 30 = 303°$ கெ.

அடர்த்தி $\rho = \frac{w}{g} = \frac{14\cdot7}{9\cdot81} = 1\cdot5$ கிகி/மீ³

சமன்பாடு 1·4-ஐப் பயன்படுத்தி,

$R = \frac{p}{\rho T} = \frac{196\cdot2}{1\cdot5 \times 303} = 0\cdot43$ கிநி-மீ/கிகி.° கெ.

$= 430$ ஜூல்/கிகி.°கெ.

மாதிரிக் கணக்கு 1·7. 0·5 மீ³ பருமனுள்ள ஒரு உருளையுள் 60°C வெப்பநிலையில் 3·43 கிநி/மீ² தனி அழுத்தத்தில் காற்று இருக்கிறது. காற்றானது 0·3 மீ³ பருமனுக்கு அமுக்கப்பட்டால், (*i*) வெப்பநிலை மாறா முறையின்படி உருளையிலுள்ள காற்றின் அழுத்தத்தையும், (*ii*) வெப்பநிலை மாற்றீடற்ற முறையின்படி அழுத்தத்தையும் வெப்பநிலையையும் கணக்கிடு. $k = 1\cdot4$ எனக் கொள்க.

விடை காணும் வழி :

$p_1 = 343$ கிநி/மீ² $\qquad p_2 = ?$

$V_1 = 0\cdot5$ மீ³ $\qquad V_2 = 0\cdot3$ மீ³

$T_1 = (273+60) = 333°$ கெ $\qquad T_2 = ?$

(*i*) வெப்பநிலை மாறு முறைப்படி,

$$p_1V_1 = p_2V_2$$

$$p_2 = \frac{0{\cdot}5}{0{\cdot}3} \times 343 = 572 \text{ கிநி/மீ}^2$$

(*ii*) வெப்ப மாற்றீடற்ற முறைப்படி,

$$p_1V_1^{\kappa} = p_2V_2^{\kappa}$$

$$p_2 = \left(\frac{0{\cdot}5}{0{\cdot}3}\right)^{1{\cdot}4} \times 343 = 705 \text{ கிநி/மீ}^2$$

சமன்பாடுகள் 1·4, 1·6-ஐப் பயன்படுத்தி,

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

ஆகவே, $$T_2 = 333\left(\frac{7{\cdot}14}{3{\cdot}5}\right)^{\frac{0{\cdot}4}{1{\cdot}4}} = 333 \times 1{\cdot}226$$

$$= 409^\circ\text{கெ}$$

1·13. பொது வாயு மாறிலி (Universal Gas Constant)

வாயுவின் நிலைச் சமன்பாட்டை நிறையலகு பருமத்தால் (specific volume) எழுதினால்,

$$pv = RT$$

m கிகி. நிறையுள்ள வாயுவின் பருமன் *V* க.மீ. ஆனால், அந்தச் சமன்பாடு

$$pV = mRT$$

இதில் *R* வாயு மாறிலியாகும். *R*-ன் மதிப்பு வாயுக்கு வாயு மாறுபடும். இந்தச் சமன்பாட்டையே எல்லா வாயுக்களுக்கும் பொதுவாக இருக்கும்படிச் செய்ய வேண்டுமானால் இது மோல் (mole) அடிப்படையில் அமைய வேண்டும். ஒரு கிலோகிராம் மோலானது (kilogram mole) ஒரு கிலோகிராம் நிறையை வாயுவின் மூலக்கூறின் எடையால் பெருக்கி வந்த தொகைக்குச் சமம் என வரையறுக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஒரு பொருளின் மூலக்கூறு எடை ஒரு வெற்றெண்ணாகும்; அது கார்பன் (carbon) அணுவின் எடையில் $\frac{1}{12}$ பங்காகச் சொல்லப்படுகிறது. அவகாட்ரோவின் கொள்கைப்படி (Avogadro's hypothesis) எல்லாத் தூய வாயுக்களிலும் ஒரே வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் ஒரே அளவுப்

பருமனின் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை சமம் என அறிகிறோம் இப்போது, கொடுக்கப்பட்டுள்ள V பருமனுள்ள வாயுவிலுள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை n-ஆக இருக்கட்டும். வாயுவின் மூலக்கூறு எடை M-ஆக இருக்கட்டும். அப்படியானால்

$$nM = m$$

ஆகவே,

$$PV = nMRT \tag{1·7}$$

இப்போது ஒரே வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலுமுள்ள இரண்டு நிறைவுடை வாயுக்களை எடுத்துக்கொள்வோம். அவற்றின் பருமன் எடைகள் முறையே w_1, w_2 ஆக இருக்கட்டும். அதேபோல் அவற்றின் வாயு மாறிலிகளின் மதிப்புகள் R_1, R_2 ஆக இருக்கட்டும். எனவே,

$$p_1 = w_1 R_1 T_1$$

$$p_2 = w_2 R_2 T_2$$

$$\frac{\dfrac{p_1}{R_1 T_1}}{\dfrac{p_2}{R_2 T_2}} = \frac{w_1}{w_2}.$$

$$\therefore \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{w_1}{w_2}$$

அவகாட்ரோவின் கொள்கைப்படி இரு வாயுக்களும் சம வெப்பநிலை, அழுத்தத்திலுள்ள வாயுக்கள் ஒரே எண்ணிக்கை மூலக்கூறுகளை உடையனவாக இருக்கும். மேலும் $w \propto nM$

ஆகவே,
$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{nM_1}{nM_2}$$

$$\therefore \quad \frac{R_2}{R_1} = \frac{M_1}{M_2}$$

$$\therefore \; M_1 R_1 = M_2 R_2$$

இதிலிருந்து MR என்பது மாறிலியாக இருக்க வேண்டுமெனத் தெரிகிறது. எனவே, pV/nT என்பது எல்லா நிறைவுடை வாயுக்களுக்கும் ஒரே மதிப்புடையதாகும். MR என்பது எல்லா வாயுக்களுக்கும் ஒரே மதிப்புடையதாக இருப்பதால் அதைப் பொது வாயு மாறிலி என வழங்குகிறோம். இதன் மதிப்பு 8314 ஜூல்/கிகி.மோல் ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 1·8. 3 கிகி. நிறையும், 0·25 மீ^{3} பருமனுள்ள நைட்ரஜன் வாயு 0°C வெப்பநிலையில் எந்த அழுத்தத்திலிருக்கும்? நிறைவுடை வாயுச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தவும். நைட்ரஜனுக்கு மூலக்கூறு எடை 28.

$$pV = mRT$$

பொது வாயு மாறிலி = 8314 நிமீ/கிகி. மோல்-கெ

$$R = \frac{8314}{28} = 297 \text{ நிமீ/கிகி. கெ.}$$

$$p = \frac{3 \times 297 \times 273}{0{\cdot}25} \text{ நி/மீ}^2$$

$$= 974 \times 10^3 \text{ நி/மீ}^2$$

$$= 974 \text{ கிநி/மீ}^2$$

பல வாயுக்களின் வாயு மாறிலியின் மதிப்பு அட்டவணை 1-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

அட்டவணை 1

வாயுக்கள்	வாயு மாறிலி (ஜூல்/கிகி-கெ)
காற்று	287
நைட்ரஜன்	297
பிராணவாயு	260
கார்பன்-டை-ஆக்ஸைடு	188
ஹைட்ரஜன்	4128

1·14. அழுந்துந்தன்மை (Compressibility)

பாய்மத்தின் அழுந்துந்தன்மையானது அழுத்தத்திற்கும் அதனால் ஏற்படும் பருமன் திரிபுக்குமுள்ள (volumetric strain) விகிதமாக விளக்கப்படுகிறது. இதற்குப் பரும மீட்சிக் குணகம் (bulk modulus) எனப் பெயர். *dp* என்பது அழுத்தத்தின்

அதிகரிப்பையும், $-dV$ என்பது அதனால் ஏற்படும் பருமனளவின் மாறுபாட்டையும், V என்பது தொடக்கப் பருமனையும் குறிக்குமானால்,

$$K = \frac{dp}{\left(\frac{-dV}{V}\right)} = \frac{-dp}{\left(\frac{dV}{V}\right)} \qquad (1{\cdot}8)$$

இதையே அடர்த்தி மாறுபாட்டால் விளக்கினால்,

$$d\rho = d\left(\frac{M}{V}\right) = -M\frac{dV}{V^2}$$

$$= -\rho\,\frac{dV}{V}$$

ஆகவே,

$$K = \frac{dp}{\frac{d\rho}{\rho}} \qquad (1{\cdot}9)$$

அழுத்த மாறுபாட்டின்போது பொருளானது நிலை (state) மாறாதிருக்க வேண்டும். திரவங்களுக்கும் திடப் பொருள்களுக்கும் K-ன் மதிப்பு வெகு அதிகம். ஆகவே, அழுத்த வேறுபாட்டால் ஏற்படும் அடர்த்தி வேறுபாடும் மிகக் குறைவு. வாயுக்களுக்கு K-ன் மதிப்பு மிகவும் மாறுபடுவதால் நடைமுறையில் அது பயன் படுத்தப்படுவதில்லை.

K-ன் மதிப்பு எப்படி பருமன் அல்லது அடர்த்தி மாறுபடுகிறது என்பதையும் பொறுத்தது. மாறாத வெப்பநிலையில் மாற்றங்கள் நேருமானால், அதற்குச் சம வெப்பநிலை பரும மீட்சிக் குணகம் K_i எனப் பெயர். வெப்பப் பரிமாற்றம் இல்லாமல் மாற்றங்கள் நேருமானால், அதற்கு வெப்ப மாற்றீடற்ற பரும மீட்சிக் குணகம் K_a எனப் பெயர். திட, திரவப் பொருள்களுக்கு $K_i = K_a$ ஆகும். சமன்பாடு 1·6க்கு மடக்கை (logarithm) எடுத்தால்,

$$\log p - k \log \rho = \log c$$

இதை ρ-க்கு வகையிட்டால்,

$$\frac{1}{p}\,\frac{dp}{d\rho} - \frac{k}{\rho} = 0$$

ஆகவே,

$$\frac{dp}{\frac{d\rho}{\rho}} = kp = K_a$$

இதேபோல் சமன்பாடு 1·5-ஐ ρக்கு வகையிட்டால்,

$$\frac{dp}{d\rho} = \frac{p}{\rho}$$

ஆகவே,
$$\frac{dp}{\frac{d\rho}{\rho}} = p = K_i$$

இயல்பான வெப்பநிலை, அழுத்தங்களில் நீரின் பரும மீட்சிக் குணகம் 218×10^4 கிநி/மீ²-ம், காற்றின் பரும மீட்சிக் குணகம் 103 கிநி/மீ-ம் ஆகும். ஆகவே, வளிமண்டலக் காற்றை நீரைவிட 21,000 மடங்கு எளிதாக அமுக்கலாம்.

1·15. ஒலியின் திசைவேகம் (Velocity of Sound)

ஒரு பாய்மத்தில் உலைவு (disturbance) அல்லது அழுத்த வேறுபாடு பரவும் வேகத்தை அந்தப் பாய்மத்தின் ஒலித் திசைவேகம் என்கிறோம். அமுக்கப் பாய்மப் பாய்ச்சல் (compressible fluid flow) என்ற பகுதியில் ஒலித் திசைவேகமானது

$$c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho}}$$

எனக் காட்டப்படும். இதில் c ஒலித் திசைவேகத்தைக் குறிக்கும். c-யின் மதிப்பானது பாய்மத்தில் உலைவு அல்லது அழுத்த வேறுபாடு பரவும் செயல் மாறா வெப்பநிலையில் ஏற்படுகிறதா அல்லது வெப்ப மாற்றீடற்ற நிலையில் ஏற்படுகிறதா என்பதைப் பொறுத்தது.

மாதிரிக் கணக்கு 1·9. படித்தர (standard) வளிமண்டலத்தில் ஒலித்திசை வேகத்தைக் கணக்கிடுக.

ஒலியால் வளிமண்டலத்தில் ஏற்படும் உலைவானது வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையிலிருக்கும் எனக் கொள்ளலாம். ஆகவே,

$$c = \sqrt{\frac{kp}{\rho}}$$

படித்தர வளிமண்டலத்தில்

$$k = 1{\cdot}4$$
$$p = 101{\cdot}325 \text{ கிநி/மீ}^2$$
$$\rho = 1{\cdot}22 \text{ கிகி/மீ}^3$$

ஆகவே,

$$c = \sqrt{\frac{1{\cdot}4 \times 101{\cdot}325 \times 1000}{1{\cdot}22}}$$
$$= 340 \text{ மீ/வி.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 1·10. நீரில் ஒலித் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடுக. $K = 218 \times 10^4$ கிநி/மீ².

$K = 218 \times 10^4$ கிநி/மீ²

$\rho = 1000$ கிகி./மீ³

நீரில் ஏற்படும் உலைவு வெப்பநிலை மாரு முறையிலிருக்கும். எனவே,

$$c = \sqrt{\frac{k}{\rho}} = \sqrt{\frac{218 \times 10^4 \times 1000}{1000}} = 1470 \text{ மீ/வி}$$

1·16 ஆவியமுத்தம் (Vapour Pressure)

வளிமண்டலத்திற்குத் திறப்பாயுள்ள எல்லாத் திரவங்களும் ஆவியாகும் தன்மை யுடையன. திரவ மூலக்கூறுகள் திரவத்தி லிருந்து விடுபட்டு வளிமண்டலத்தோடு கலப்பதை ஆவியாதல் என்கிறோம். ஆவியாகும் வீதம் திரவ, வாயு மூலக்கூறுகளின் ஆற்றல் வேறுபாட்டைப் பொறுத்தது.

ஒரு மூடிய பாத்திரத்தில் காற்றை மேற்பாகமாகவுடைய திரவத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். திரவத்திலுள்ள ஆற்றல் மிக்க சில மூலக்கூறுகள் திரவத்திலிருந்து தப்பி ஆவி நிலையில் மேலே உள்ள காற்றுடன் கலக்கும். அப்படி மேலும் மேலும் திரவ மூலக்கூறுகள் கலப்பதால் காற்றின் அழுத்தம் அதிக மாகிறது; ஆகவே, ஆவி வடிவிலுள்ள சில திரவ மூலக்கூறுகள் திரவத்திற்குத் திரும்பவும் திரவநிலையில் திரும்பி வந்து விடுகின் றன. நேரம் செல்லச் செல்ல, ஆவியிலிருந்து திரவத்திற்கும், திரவத்திலிருந்து ஆவிக்கும் செல்லும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை சமமாகிறது. இப்படி ஒரு சமநிலை (equilibrium) ஏற்படுகிறது. இந்த நிலையில் திரவத்திற்கு மேலுள்ள காற்றானது தெவிட்டிய (saturated) நிலையை அடைந்து விட்டதாகக் கருதப் படுகிறது. இந்த நிலையில் மேற்கொண்டும் திரவமானது ஆவியாக முடியாது. இப்போது காற்றானது திரவத்தின் மேல் தொழிற் படுத்தும் அழுத்தத்தைத் தெவிட்டிய ஆவியழுத்தம் (saturated vapour pressure) என்கிறோம். திரவத்தின் மேற்பரப்பிலுள்ள காற்றின் அழுத்தம் தெவிட்டிய ஆவியழுத்தத்தை அடையும் வரை திரவமானது ஆவியாக மாறிக்கொண்டிருக்கும். எளிதில் ஆவியாகும் திரவங்கள் அதிக தெவிட்டிய ஆவியழுத்தத்தை உடையனவாக இருக்கின்றன. பாதரசம் மிகக் குறைந்த தெவிட் டிய ஆவியழுத்தத்தை உடைத்தாயிருப்பதால், அதை வெப்பநிலை மானி (thermometer), பாரமானி (barometer) போன்றவைகளில் பயன்படுத்துகிறோம். 20°C-ல் பல திரவங்களுக்கான தெவிட்டிய ஆவியழுத்தம் அட்டவணை 2-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

அட்டவணை 2

தெவிட்டிய ஆவியழுத்தம், 20°C

	நி/மீ²
பாதரசம்	0·16
மண்ணெண்ணெ	3 300
ஈத்தைல் சாராயம்	5 900
பென்சீன்	10 000
கார்பன் டெட்ராகுளோரைட்	12 000
பெட்ரோல்	30 400
ஃரியான்-12	553 000

பல வெப்பநிலைகளுக்குரிய நீரின் தெவிட்டிய ஆவியழுத்தம் அட்டவணை 3-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. தூய நீரானது படித்தர வளிமண்டல அழுத்தத்தில் கடல் மட்டத்தில் 101500 நி/மீ² தெவிட்டிய அழுத்தத்தில் இருக்கிறது. ஆகவே, அந்த அழுத்தத்தில் 100°C வெப்பநிலையில் அது கொதித்து முழுவதும் ஆவியாகி விடுகிறது. நீருக்கு மேலுள்ள காற்றின் அழுத்தத்தைக் குறைத்தால், குறைந்த வெப்பநிலையிலேயே நீரைக் கொதிக்க வைக்கலாம். மலைப் பகுதிகளில் நீரானது குறைந்த வெப்பநிலை களில் கொதிப்பது நாம் அறிந்ததே.

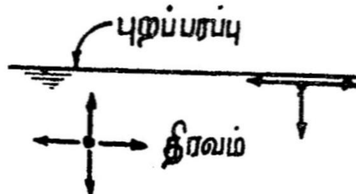
அட்டவணை 3

நீரின் தெவிட்டிய ஆவியழுத்தம்

வெப்பநிலை °C	நி/மீ²
0	615
10	1 230
20	2 340
40	7 400
60	20 000
80	47 400
100	101 500

1·17. புறப்பரப்பு இழுவிசை (Surface Tension)

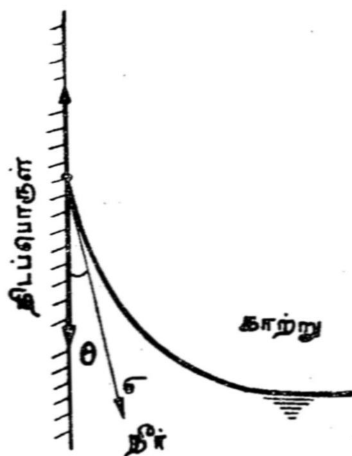
ஒரு பொருளிலுள்ள மூலக்கூறுகள் ஒன்றையொன்று தன்பால் ஈர்க்கின்றன. இந்த ஈர்ப்பு சக்தி அந்த இரு மூலக்கூறுகளின் நிறைகளின் பெருக்குத் தொகைக்கு நேர்விகிதத்திலும், அவற்றின் நிறைமையங்களின் இடைத்தூரத்தின் இருமடிக்கு எதிர்விகிதத்திலும் உள்ளது. ஒரு மூலக்கூறின் ஆதிக்கதூரம் அதைச் சுற்றியுள்ள ஒரு சிறு பகுதியே. அதற்கப்பால் அதன் ஈர்ப்பு சக்தி செயல்படுவதில்லை. படம் 1·6-ல், ஒரு திரவத்தில் மூலக்கூறு ஈர்ப்பு சக்தி ஆதிக்கம் செலுத்தும் தூரம் காட்டப்பட்டுள்ளது. புறப்பரப்பிற்கு சமீபத்திலுள்ள மூலக்கூறின் மேல் செயல்படும் விசைகளின் தொகுபலன் கீழ் நோக்கியே செயல்படவேண்டும். ஆனால், இந்த மூலக்கூறானது அந்த விசையால் கீழ்நோக்கி நகராமல் மேற்பரப்பிலே இருப்பதால் அந்த நிலையை அடைவதற்கு அந்த மூலக்கூறு அந்தப் புறப்பரப்பு உண்டாகும் போது வேலை செய்திருக்க வேண்டும். இவ்வாறு உள்விசைக்கு எதிராகச் செய்யப்பட்ட வேலையே புறப்பரப்பு ஆற்றல் (surface energy) என அழைக்கப்படுகிறது. அது σ (சிக்மா) என்ற கிரேக்க எழுத்தால் குறிக்கப்படும். இந்த ஆற்றல் கொள்கையின் அடிப்படையில் சோப்புப் படலம் உண்டாதல், நீர்த்துளிகள் உண்டாதல், உருகிய உலோகத்தைத் தெளித்துக் கோளங்களை உண்டாக்குதல் போன்றவற்றை விளக்கலாம். கொடுக்கப்பட்ட பருமனுக்குக் கோள அமைப்பே குறைந்த புறப்பரப்புள்ளதாக இருப்பதால், கோள அமைப்பு உண்டாவதற்கே குறைந்த ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. வேறு எந்த அமைப்பை அடைவதற்கும் ஆற்றல் அதிகமாகத் தேவைப்படும். ஒரு திரவத்தின் புறப்பரப்பு உண்டாகும்போது வெப்ப ஆற்றல், எந்திர ஆற்றல் (mechanical energy) ஆகியவை தேவைப்படுகின்றன. இங்கே நாம் எந்திர ஆற்றலை மட்டும் எடுத்துக்கொண்டால், அதனால் ஏற்படும் விசையானது இழுவிசையாகத்தான் இருக்கவேண்டும். ஒரு மீட்டருக்குத் தேவையான இந்த இழுவிசையின் அளவும், ஒரு அலகு பரப்பில் உண்டாகும் பரப்பு ஆற்றலும் ஒன்றாகும். ஆகவே, நமக்குத் தேவையான இடத்தில், வசதிக்கேற்றாற்போல், இழுவிசைக் கொள்கை அல்லது ஆற்றல் கொள்கை இவை இரண்டில் ஏதாவது ஒன்றைப் பயன்படுத்தி பரப்பு இழுவிசையைக் கண்டுபிடிக்கலாம்.



படம் 1·6.
மூலக்கூறின் ஈர்ப்பு சக்தி

1·18. திரவ-வாயு-திடத் தொடுகை (Liquid-gas-solid Co.

காற்று, நீர், கண்ணாடி ஆகிய மூன்றின் எல்லை பிரித்து உண்டாகும் புறப்பரப்பு அழுத்தமானி (mano. போன்ற அமைப்புகளில் வருவதால், நமக்கு அதுபற்றிய . அவசியமாகிறது. புறப்பரப்பின் அமைப்பு திரவ மூலக்கூறுகளுக். உண்டாகும் தானிணை விசையையும் (cohesive force), திரவ மூ கூறுக்கும் திட மூலக்கூறுக்குமிடை உண்டாகும் ஒட்டுவிசையையும் (adhesive force) பொறுத்தது. படம் 1·7-ல் இவ்வாறு மூலக்கூறு விசைகளால் ஏற்படும் புறப்பரப்பின் அமைப்பு காட்டப்பட்டுள்ளது. அதிலுள்ள தொடுகோணமான (contact angle) θ-வை ஆற்றல், விசைக் கொள்கைகளின் அடிப்படையில் நாம் அறியலாம். திடப் பொருளின் புறத்திலிருந்து பிரிந்து தனியாக திரவப் புறப்பரப்பு அமைவதற்குத் தேவையான ஆற்றலானது இரண்டு தனிப் பரப்புகளின் முடிவான ஆற்றல்களின் கூட்டுத்தொகைக்கும் $(\sigma_{sg} + \sigma_{lg})$ முதலிலுள்ள ஆற்றலுக்குமுள்ள (σ_{sl}) வேறுபாட்டிற்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும். ஆகவே, ஒரு அலகு பரப்பில் செயல்பட்ட ஆற்றலானது,



படம் 1·7.
புறப்பரப்பிலுள்ள விசைகள்

$$W_{sl} = \sigma_{sg} + \sigma_{lg} - \sigma_{sl}$$

பரப்பு இழுவிசைகளின் சமநிலை அடிப்படையில்,

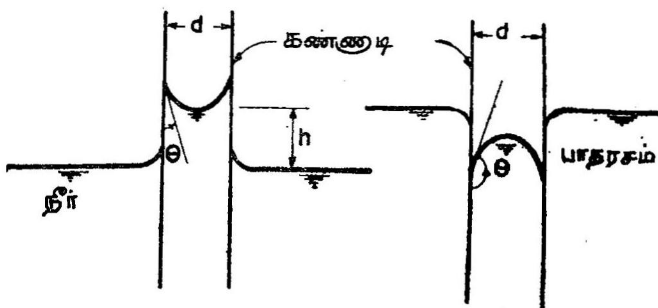
$$\sigma_{sg} = \sigma_{sl} + \sigma_{lg} \cos\theta$$

ஆகவே,

$$W_{sl} = \sigma_{lg}\,(1 + \cos\theta) \qquad (1\cdot10)$$

சமன்பாடு 1·10, நீர்-காற்று-கண்ணாடி, நீர்-பாதரசம்-கண்ணாடி `பான்ற பொதுப் பரப்புள்ள அமைப்புகளின் தொடு கோணத்தி ்ற்படும் வேறுபாடுகளை விளக்குகிறது. படம் 1·8-ல் இந்த களில் நுண்புழை அமைப்புகள் காட்டப்பட்டுள்ளன. தொடு ணம் $\theta$-வின் மதிப்பு சுழியாக இருக்கும்போது $W_{sl} = 2\sigma_{lg}$ `ருப்பதால், திட, திரவ மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயுள்ள ஒட்டு திரவ மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயுள்ள தானிணை விசையை சமெனத் தெரிகிறது. ஆகவே, திரவ, திட மூலக்கூறுகளுக்

கிடையேயுள்ள தொடு பரப்பு (contact area) அதிகமாகிறது. ஆகவே, திரவ மூலக்கூறுகள் திட மூலக்கூறுகளின் மீது படர்ந்து



படம் 1·8. நுண்புழை அமைப்புகள்

நனைதலை (wetting) ஏற்படுத்தி, நீரை நுண்புழையின் வெளியிலுள்ள நீர்மட்டத்தைவிட உயரச் செய்கிறது. நன்றாக நனைந்திருந்தால் θ-வின் மதிப்பு சுழியாகும். நனையாமலே இருந்தால், $\theta = 180°$ஐக் குறிக்கும். பாதரசத்திற்கும் கண்ணாடிக்குமிடையேயுள்ள தொடு கோணம் 130° ஆகும்.

1·19. குழாய்களில் நுண்புழை (Capillary in Tubes)

மேலே விளக்கப்பட்ட மூலக்கூறு விசைகளால் திரவமானது மிகக் குறுகிய பாதைகளில் ஏறவோ இறங்கவோ செய்கிறது. இது திட, திரவப் பொருள்களின் நனையும் தன்மையைப் பொறுத்தது. நுண்புழை என்று அழைக்கப்படுகின்ற மிகச் சிறிய விட்டமுள்ள இருபுறமும் திறந்துள்ள கண்ணாடிக் குழாயை நீரினுள் செங்குத்தாகத் தாழ்த்தினுல், நுண்புழையினுள் நீர் உயர்கிறது. ஆனுல், பாதரசத்தில் வெளிப் பாதரச மட்டத்தைவிட பாதரசம் நுண்புழையினுள் இறங்கிக் காணப்படுகிறது. நனையுந் தன்மையே படம் 1·8-ல் காட்டியுள்ளபடி புறப்பரப்பு வளைவாக இருக்கக் காரணமாயிருக்கிறது. ஆற்றல் அல்லது விசைக் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி இந்த நுண்புழை எழுச்சி அல்லது வீழ்ச்சியை அறியலாம். விசைக் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி, தொடு கோணம் θ எனக் கொண்டு, எல்லா இழுவிசைகளுக்கும் செங்குத்துக் கூறுகளை எடுத்து அவற்றைத் திரவத்தின் நிலைநீரியல் விசைக்குச் சமனிட்டால்,

$$w \frac{\pi d^2}{4} \times h = \pi d \times \sigma \cos \theta$$

$$h = \frac{4\sigma \cos \theta}{wd} \qquad (1\cdot11)$$

இதில் d என்பது நுண்புழைக் குழாயின் விட்டத்தையும், w என்பது திரவத்தின் அலகு பருமனெடையையும் குறிக்கும். இதே போல் இரு பரிமாண (two dimensional) இடைக்கீறல் (slit) ஊடே உண்டாகும் நுண்புழையானது மேலே கண்ட மதிப்பிற்கு இரண்டில் ஒரு பங்கு எனக் கணக்கிடலாம். d-ன் மதிப்பு அதிகரிக்க அதிகரிக்க h-ன் மதிப்பு குறையும். திடப் பொருள் அல்லது திரவத்தில் சிறிது அழுக்குப் படிந்திருந்தாலும் h-ன் மதிப்பு பாதிக்கப்படும். நீரின் பரப்பு இழுவிசையை சோப்புக் கரைசல் போன்றவைகள் மிகக் குறைக்கலாம். அட்டவணை 4-ல் பல திரவங்களுக்கான பரப்பு இழுவிசைகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. மாதிரிப் பரிசோதனைகளில் (model experiments) எங்கெல்லாம் பாதைகள் குறுகியனவாக இருக்கிறதோ அங்கு பரப்பு இழுவிசையின் விளைவுகள் முக்கியமாக எடுத்துக் கொள்ளப்பட வேண்டும்.

அட்டவணை 4

திரவங்களின் பரப்பு இழுவிசைகளின் மதிப்பு

திரவம்	நி/மீ
சாராயம் (ஈத்தைல்)	0·0224
பென்சீன்	0·0289
கார்பன் டெட்ரா குளோரைடு	0·0267
மண்ணெண்ணெ	0·0234—0·0321
நீர் (தூய)	0·0727
பாதரசம் (காற்றில்)	0·5139
,, (நீரில்)	0·3927
,, (வெற்றிடத்தில்)	0·4862
எண்ணெ (கச்சா)	0·233—0·0377
உயவு எண்ணெ	0·0350—0·0379

மாதிரிக் கணக்கு 1·11. 3 மிமீ. விட்டமுள்ள கண்ணாடிக் குழாயை நீரில் செங்குத்தாக நுழைத்தால், அதில் ஏற்படும் நுண்புழை ஏற்றம் எவ்வளவு? $\sigma = 0{\cdot}071$ நி/மீ.

$\sigma = 0{\cdot}071$ நி/மீ.

$w = 98{\cdot}1$ கிநி/மீ^{3}

$d = 0{\cdot}003$ மீ

$$h = \frac{4\sigma}{wd} = \frac{4 \times 0{\cdot}071}{98{\cdot}1 \times 1000 \times 0{\cdot}003} = 9{\cdot}69 \times 10^{-3} \text{ மீ}$$

$= 9{\cdot}69$ மிமீ.

மாதிரிக் கணக்கு 1·12. ஒரு நீர்த்துளிக்கும் அதன் வெளிப்புறத்துக்குமுள்ள அழுத்த வேறுபாட்டைக் கணக்கிடுக. அதிலிருந்து 50 மிமீ. விட்டமுள்ள ஒரு சோப்புக் குமிழின் பரப்பு இழுவிசையை அதன் உட்புற அழுத்தம் 1·96 நி/மீ^{2} ஆக இருக்கும்போது கணக்கிடு.

p_1, p_2 என்பன நீர்த்துளியின் உட்புற, வெளிப்புற அழுத்தங்களாக இருக்கட்டும். அதன் அரைக் கோளத்தின் நடுநிலையில் அதன் மேல் செயல்படும் விசைகளின் பலன் சுழியாக இருக்க வேண்டுமாதலால்,

$$(p_1 - p_2) \times \frac{\pi d^2}{4} = \sigma \pi d$$

$$\triangle p = \frac{4\sigma}{d}$$

இதில் σ என்பது ஒரு அலகு நீளத்திற்கான பரப்பு இழுவிசையாகும்.

இப்போது $d = 0{\cdot}05$ மீ

$p = 1{\cdot}96$ நி/மீ^{2}

சோப்புக் குமிழிற்கு உள்ளும் புறமுமாக இரண்டு பரப்புகள் இருப்பதால்,

$$\triangle p = \frac{8\sigma}{d}$$

ஆகவே, $$\sigma = \frac{1{\cdot}96 \times 0{\cdot}05}{8} = 0{\cdot}0123 \text{ நி/மீ}^2.$$

1·20. இலட்சியப் பாய்மம் (Ideal Fluid)

இலட்சியப் பாய்மம் என்பது கணித முறையில் கையாளுவதற்காக நாம் எடுத்துக் கொள்ளும் கற்பித ஊடகமே (hypothetical medium) ஆகும். இதில் பாகுநிலை இல்லை என்று நாம் கொள்வதால் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு நிகழ்வதில்லை. ஆகவே, இந்த இலட்சியப் பாய்மத்திலுள்ள எல்லா விசைகளும் நேர் அழுத்தத்தால் உண்டாவதே. சறுக்குப் பெயர்ச்சி தகைவு இல்லாததால் கணித முறையில் பலன்களை அடைதல் எளிதாகிறது. இலட்சியப் பாய்மம் பாகு நிலையற்றது; அமுக்க முடியாதது. இதை நிறைவுடை பாய்மத்தோடு தவறுதலாக அறிந்து கொள்ளக் கூடாது. நிறைவுடை பாய்மத்திற்குப் பாகுநிலை உண்டு; அமுக்கமுடையது. நிலைச் சமன்பாட்டை நிறைவு செய்யும் எந்த வாயுவும் நிறைவுடை வாயுவாகும்.

பயிற்சிக் கணக்குகள்

1·1. ஒரு கனமீட்டர் கச்சா எண்ணை 9·44 கி.நி. எடையுள்ளது. அதன் அடர்த்தி, ஒப்பு அடர்த்தி, அலகு பருமனெடை முதலியவற்றை கணக்கிடு.

1·2. 1000 லிட்டருக்கு 9·81 நி. எடையுள்ள ஒரு வாயுவின் ஒப்பு அடர்த்தியை 1000 லிட்டருக்கு 12·3 நி. எடையுள்ள காற்றின் அடிப்படையில் காண்.

1·3. அடர்த்திக்கும், அலகு பருமனெடைக்குமுள்ள தொடர்பை அட்டவணையில் சரிபார்க்க.

1·4. பல பாய்மங்களை ஒன்று சேர்ப்பதால் ஏற்படும் கலவையின் ஒப்பு அடர்த்தி, அந்தக் கலவையை சம பருமன் அடிப்படையில் சேர்த்தால், சம எடை அடிப்படையில் சேர்ப்பதைவிட அதிகமாக இருக்கும் என நிரூபிக்க.

1·5. 30°C வெப்பநிலையில் இயற்கை வாயுவின் ஒப்பு அடர்த்தி 0·6 ஆகும். அதன் நிறையலகு பருமனையும், அடர்த்தியையும் அதே வெப்பநிலையிலும் அழுத்தத்திலும் கணக்கிடுக. அந்த வாயுவின் வாயு மாறிலி என்ன ?

1·6. தூய நீரானது V பருமனும், S ஒப்பு அடர்த்தியுமுள்ள உப்புக் கரைசலில் துளித்துளியாக ஊற்றப்படுகிறது. அந்தக் கரைசல் அதனால் வழிந்தோடுகிறது. v பருமனளவு தூய நீரானது ஊற்றி முடிந்த பிறகு அந்தக் கரைசலின் ஒப்பு அடர்த்தி என்ன ?

1·7. தூய நீரின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலை 30°C வெப்ப நிலையில் என்ன ?

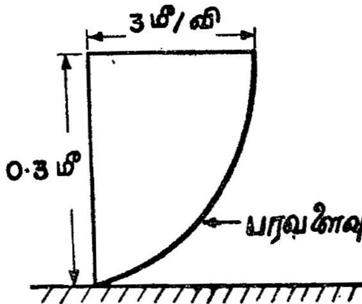
1·8. எந்த வெப்பநிலையில், வளிமண்டல அழுத்தத்தில், எரி எண்ணெயின் ($S = 0{\cdot}968$) இயக்கப் பாகுநிலையும், காற்றின் இயக்கப் பாகுநிலையும் சமமாகும்.

1·9. 30°C வெப்பநிலைக்கும், 100°C வெப்பநிலைக்கும் நீரின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையின் விகிதம் என்ன ?

1·10. 20 சென்டிபாய்ஸ் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையுடைய 5 மிமீ. ஆழமுள்ள திரவத்தின் மேற்புறப் பரப்பில் 1 ச.மீ. பரப்புள்ள மெல்லிய தகடு 3 மீ/வி திசை வேகத்தில் இழுக்கப்படுகிறது. அந்தத் திரவத்தில் திசை வேகப் பகிர்வு நேராக இருப்பதாகக் கொண்டு, இழுவிசையைக் கணக்கிடு.

1·11. ஒரு எல்லையிலிருந்து y தூரத்தில் திசைவேகம் v ஆனது $v = 1{\cdot}5y+y^2$ என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கப் படுமானல், அந்தத் திரவத்தில் $y = 0$, 20, 40 செமீ. தூரத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவுகள் என்ன ?

1·12. திசைவேகப் பகிர்வு ஒரு பரவளைவு அமைப்பில் படத்தில் காட்டப் பட்டுள்ளது. அந்தத் திரவ ஓட்டத்தின் ஆழம் 0·3 மீட்டரும், திரவத்தின் மேற்புறத் திசைவேகம் 3 மீ/வி ஆகவும் இருக்குமானல், அடித்தளத்திலிருந்து 0, 0·1, 0·2 மீ தூரங்களில், 15 சென்டிபாய்ஸ் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையுடைய திரவத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவுகள் என்ன ?



1·13. 50·5 மிமீ. விட்டமுள்ள ஒரு குழாய் செங்குத்தான வழவழப்பான 50 மிமீ. விட்டமுள்ள தண்டில் (shaft) மேல் உறை போல் நழுவ விடப்படுகிறது. 0·5 மீ. நீளமுள்ள அந்தக் குழாயின் எடை 19·6 நி. ஆகும். அந்தத் தண்டிற்கும் குழாயிற்கும் இடையிலுள்ள

வெளியில் 200 பாய்ஸ் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையுள்ள திரவமுள்ளது. எந்தச்சீரான திசைவேகத்தில் குழாயானது தண்டில் நழுவும்?

1·14. 0·1 மீ. விட்டமுள்ள தண்டானது 0·2 மீ. நீளமுள்ள தாங்கியில் நிமிடத்திற்கு 60 சுற்றுகள் சுற்றுகிறது. அந்த இரண்டு பரப்புகளுக்குமிடையேயுள்ள தூரம் 0·5 மிமீ. சீராக இருக்குமானால், அந்த இடைவெளியிலுள்ள திரவத்தின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலை 4 சென்டி பாய்ஸ் என எடுத்துக் கொண்டு, அந்தத் தாங்கியில் உண்டாகும் திறனிழப்பை கிலோவாட்டுகளில் கணக்கிடுக.

1·15. 0·1 மீ^{3} பருமனுள்ள ஒரு அமைப்பிலுள்ள வாயுவின் தனி அழுத்தம் 200 கிநி/மீ^{2} ஆகும். அந்த அமைப்பு 0·2 மீ^{3} அளவிற்கு விரிவடையுமானால் வெப்பநிலை மாறா முறையில் அந்த அமைப்பிலுள்ள வாயுவின் அழுத்தம் என்ன?

1·16. கணக்கு 1·15-ல் தொடக்க வெப்பநிலை 50°C. ஆனால், வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் விரிவடைதல் நிகழுமானால், இறுதி வெப்பநிலை, அழுத்தம் என்ன? $k = 1·4$.

1·17. ஒரு மூடிய பாத்திரத்திலுள்ள காற்றின் அழுத்த வேறுபாடு கீழ்க்கண்ட வெப்பநிலை மாறுபட்டால் எப்படி மாறுபடும் என்பதைக் காண். (i) 30°C-லிருந்து 40°C; (ii) 60°C-லிருந்து 80°C.

1·18. காற்றிலுள்ள பகுதி ஆவியழுத்தம் (partial vapour pressure) 30°C வெப்பநிலையில் 31·80 மிமீ. பாதரச உயரமாகும். அப்போது நீராவியின் அலகு பருமனெடை என்ன?

1·19. 0·5 மீ^{3} பருமனுள்ள உருளையினுள் 60°C வெப்பநிலையில் 34·4 கிநி/மீ^{2} தனி அழுத்தத்தில் காற்று இருக்கிறது. அது 0·3 மீ^{3} பருமனுக்கு அழுத்தப்படுகிறது. (i) வெப்பநிலை மாறாமுறை, (ii) வெப்ப மாற்றீடற்ற முறை என்ற இரண்டு முறைகளில் தனித்தனியே அமுக்கப்பட்டால் அழுத்தம், வெப்பநிலை இவற்றைக் காண்.

1·20. 30°C வெப்பநிலையில், 14·7 நி/மி^{3} அலகு பருமனெடை 200 கிநி/மீ^{2} தனி அழுத்தத்திலுள்ள வாயுவின் வாயு மாறிலி என்ன?

1·21. நீரானது 30°C வெப்பநிலையில் 450 கிநி/மீ² அழுத்த அதிகரிப்பால் 0·2% பருமனளவில் குறைகிறது. நீரின் பரும மீட்சிக் குணகம் என்ன?

1·22. 8 கிலோமீட்டர் ஆழத்தில் கடல் நீரின் அடர்த்தி, ஒப்பு அடர்த்தி, நிறையலகு பருமன் இவற்றைக் கணக்கிடுக. $K=2·06$ கிநி/மிமீ². கடலின் மேற்பரப்பில் நீரின் ஒப்பு அடர்த்தி 1·035; h ஆழத்தில் நீரின் அழுத்தம் $p=wh$ ஆகும்.

1·23. கணக்குகள் 1·15, 1·16-ல் உள்ள வாயுக்களின் பரும மீட்சிக் குணகங்களைக் கணக்கிடுக.

1·24. 8 கிலோமீட்டர் கடலாழத்தில் ஒலித் திசைவேகம் என்ன?

1·25. வெப்பநிலை மாறுபாட்டால் வளிமண்டலத்தில் ஒலித் திசைவேகம் எப்படி பாதிக்கப்படுகிறது என்பதை விவரி.

1·26. ஒரு இடத்தில் கடலின் ஆழத்தைக் காண கடலின் மேற்பரப்பிலிருந்து 100 மீ ஆழத்தில் ஒரு வெடி வெடிக்கப்படுகிறது. திரும்பிவரும் முதல் அலையானது அந்த வெடி வெடித்து 2 விநாடிகள் கழித்து பதிவாயிற்று. அந்த இடத்தில் கடலின் ஆழம் என்ன ? $K=2·06$ கிநி/மிமீ².

1·27. வளிமண்டல அழுத்தத்திலுள்ள நீரின் பருமனை 1% குறைக்க என்ன அழுத்தம் தேவை? $K=218\times10^4$ கிநி/மீ².

1·28. 1 மிமீ. விட்டமுள்ள கண்ணாடி நுண்புழைக் குழாயில் பாதரசம் 20°C வெப்பநிலையில் எவ்வளவு உச்ச நுண்புழைத் தாழ்வு அடையும் என்பதைக் கணக்கிடுக. $\theta=140°$, $\sigma=0·51$ நி/மீ.

1·29. ஒரு திரவத்தின் மேற்பரப்பு இழுவிசை $\sigma=0·39$ நி/மீ ஆகும். 3 மிமீ. விட்டமுள்ள ஒரு செங்குத்தான குழாயில் 6 மிமீ. உயரத்திற்கு வெளி திரவமட்டத்தை விட திரவம் உயருமானால், அதன் தொடுகோணம் என்ன ?

1·30. ஒரு பாத்திரத்திலுள்ள காற்றின் அழுத்தத்தைக் காண 6 மிமீ. விட்டமுள்ள U-குழாய் அழுத்தமானி பயன்படுத்தப்பட்டால், அதனுல் உண்டாகும் பிழை என்ன ?

1·31. 1 மீ. × 1 மீ. அளவுள்ள ஒரு தண்ணீர்த் தொட்டியிலுள்ள நீரின் ஆழத்தை அறிய அதன் வெளிப்புறத்தில் செங்குத்தான அமைப்புள்ள 3 மிமீ. விட்டமுள்ள கண்ணுடிக் குழாய் பயன்படுத்தப்படுகிறது. 10°C வெப்பநிலையில் இம்முறை அளவில் ஏற்படும் பிழையைக் கணக்கிடுக.

1·32. கணக்கு 1·31-ல் அளவையின் பிழையை 75% குறைக்க எந்த விட்டமுள்ள கண்ணுடிக் குழாயைப் பயன்படுத்த வேண்டும் ?

1·33. இரண்டு மணல் துகள்களிடையேயுள்ள தூரம் 0·5 மிமீ. ஆக இருக்குமானுல், இயல்பான நிலநீர் மட்டத்திலிருந்து, எந்த உச்ச உயரத்திற்கு 10°C வெப்பநிலையில் நீர் உயரும் ?

1·34. 2·5 மிமீ. விட்டமுள்ள கோளவடிவ மழைத்துளியில் 20°C வெப்பநிலையில் வளிமண்டல அழுத்தத்திற்கு அதிகப்படியான அழுத்தம் எவ்வளவு ?

1·35. ஒரு திரவத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி 0·8. அதன் பரப்பு இழுவிசை 0·39 நி/மீ. வெளிப்புறத்திலுள்ள திரவ மட்டத்தைவிட 3 மிமீ. விட்டக் குழாயில் திரவமானது 6 மிமீ. உயரம் இருக்குமானுல், குழாயின் சுவர்க்கும் அந்தத் திரவத்தின் புறப்பரப்பிற்குமுள்ள கோணம் என்ன ?

2. நீர் நிலையியல்
(Hydrostatics)

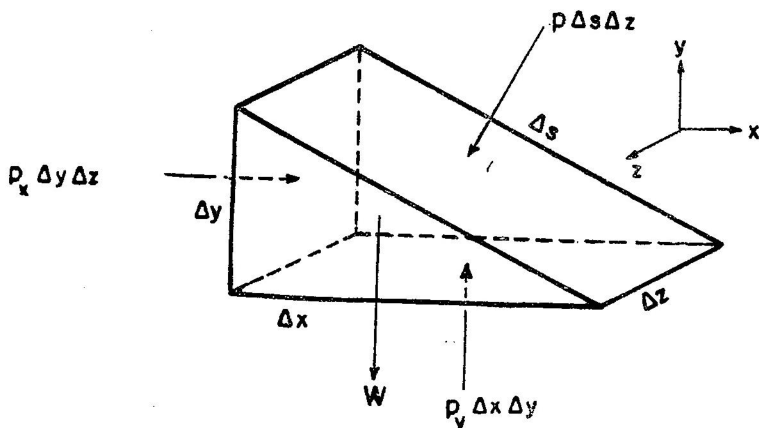
2·1. முன்னுரை

பாய்மத்தின் அதன் துகள்கள் ஒப்புச் சலனமற்ற நிலையில் இருக்கும் போது, அப்பாய்மத்தின் ஆழம், முடுக்கம், அழுத்தம் முதலியவற்றின் தொடர்புகளைப்பற்றி இந்த அத்தியாயத்தில் பார்ப்போம். பாய்மத் துகள்கள் ஒன்றுக்கொன்று ஒப்புச் சலனமற்றிருப்பதால், பாய்மத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு ஏற்படுவதில்லை. பாய்மத்தில் தொழிற்படும் விசைகள் அதன் எந்தப் பரப்பிற்கும் நேர் குத்தாக இருக்கும். பாய்மத்தின் எடை செங்குத்தாகத் தொழிற்படும். மேலும் பாய்மத்தில் ஒரு புள்ளியில் உண்டாகும் அழுத்தமானது பாஸ்கலின்(Pascal) கொள்கைப்படி எல்லாத் திசைகளிலும் சமமாக இருக்கும்; அழுத்தமானது ஆழத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும் என்ற உண்மைகளை வருவித்து விட்டு, ஒரு ஒழுங்கற்ற பரப்பில் செயல்படும் மொத்த இறுக்கு விசையின் (thrust) மதிப்பையும், அது தொழிற்படும் இடத்தையும் கண்டறிவோம். மேலும் அழுத்தமானிகளைப் பற்றியும் இந்த அத்தியாயத்தில் படிப்போம். சீரான முடுக்கத்திலுள்ள பாய்மத்திலும் அதன் துகள்களுக்கிடையே ஒப்புச் சலனம் ஏற்படுவதில்லை. ஆகவே, அந்நிலைமையிலுள்ள பாய்மத்தையும் நீர்நிலையியற் கொள்கைகளால் ஆய்ந்தறியலாம். அப்படிப்பட்ட சில நிலைமைகளும் இறுதியில் விளக்கப்பட்டுள்ளன.

2·2. ஒரு புள்ளியில் அழுத்தம்

ஒரு அலகுப் பரப்பிற் தொழிற்படும் மொத்த விசையைத் தகைவு (stress) என்கிறோம். இந்தப் பரப்பானது சுருங்கி சுழியின் மதிப்பை அடையும் போது அந்தத் தகைவை ஒரு புள்ளியிலுண்டாகும் அழுத்தமாகக் கருதுகிறோம். இந்த அழுத்தத் தகைவை ‘அழுத்தம்’ (pressure) என்று இனி வழங்குவோம். ஓய்வு நிலையி

ளுள்ள பாய்மம் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவிற்கு உட்படாதா தலால், இந்த அழுத்தமானது எந்தப் பரப்பிற்கும் நேர்குத்தாகத் தொழிற்படும். ஓய்வு நிலையிலுள்ள பாய்மத்தில் ஒரு சிறிய பரப்பானது ஒரு புள்ளியில் பல திசைகளிலிருக்கும்படி உருட்டி வைக்கப்படுமாஞல், அதில் தொழிற்படும் விசையானது எப்போதும் ஒரே அளவினதாக இருக்கும் எனக் காட்டலாம். அச் சிறிய பரப்பின் திசை மாற்றத்தால், அதில் தொழிற்படும் விசையின் அளவு மாறுவதில்லை. இதையே பாஸ்கல் விதி (Pascal's law) என் கிறேம். பாஸ்கல் விதியை நிரூபிக்க படம் 2·1-ல் உள்ள ஆப்பு (wedge) அமைப்புள்ள சிறிய பருமனை எடுத்துக் கொள்வோம்.



படம் 2·1. நிலையான பாய்மத் தனிமத்தில் தொழிற்படும் விசைகள்

இந்தப் பருமனிற் தொழிற்படும் விசைகளாவன:

(1) ஒவ்வொரு புறப் பக்கத்திலும் அப்பக்கத்திற்கு நேர்குத் தாகத் தொழிற்படும் அழுத்த விசை, (2) எடை மையத்திலிருந்து செங்குத்தாகத் தொழிற்படும் அப்பருமனின் எடை. இப்போது x, y-திசைகளில் சமநிலைச் (equilibrium) சமன்பாடுகள் பின்வருமாறு:

$$p_x \,\triangle y \,\triangle z - p \,\triangle z \,\triangle s \sin \alpha = 0$$
$$p_y \,\triangle x \,\triangle z - p \,\triangle z \,\triangle s \cos \alpha - \tfrac{1}{2} w \,\triangle x \,\triangle y \,\triangle z = 0$$

இதில் p_x, p_y என்பன அந்த அந்தப் பக்கங்களிலுள்ள சராசரி அழுத்தத் தகைவைக் குறிக்கும். w அந்தப் பருமனின் அலகு எடையைக் (specific weight) குறிக்கும். $\triangle y = \triangle s \sin \alpha$, $\triangle x = \triangle s \cos \alpha$ என்ற திரிகோண கணித (trigonometric) தொடர்பு களை மேலேயுள்ள சமன்பாடுகளில் இட்டால்,

$$p_x \,\triangle y \,\triangle z = p \,\triangle z \,\triangle y$$
$$p_y \,\triangle x \,\triangle z - p \,\triangle z \,\triangle x - \tfrac{1}{2} w \,\triangle x \,\triangle y \,\triangle z = 0$$

அந்தச் சிறிய பருமனானது ஒரு புள்ளியின் அளவிற்குச் சுருங்கு மானல், பருமனளவானது சுழியின் மதிப்பை, பரப்பினைவிட அதிக வேகத்தில் அடைகிறது. ஆகவே, அந்தச் சமன்பாட்டிலிருக்கும் இறுதி உறுப்பை (term) புறக்கணித்து விட்டால்,

$$p_x = p; \ p_y = p$$

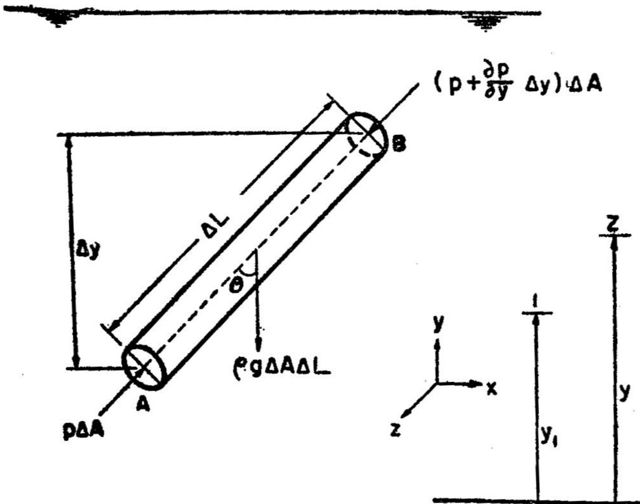
அந்தப் பருமனைச் சுழற்றி $p_z = p$ என்றும் நிரூபிக்கலாம், ஆகவே,

$$p_x = p_y = p_z = p \qquad (2{\cdot}1)$$

பாய்மமானது சமநிலையில் இல்லாவிட்டால், நேர்குத்துத் தகைவுகள் சமமாக இருக்கா. இருந்தபோதிலும் ஒரு புள்ளியிலுண்டாகும் இறுக்கத் தகைவானது நேர்குத்தான மூன்று திசைகளிலுள்ள இறுக்கத் தகைவுகளின் சராசரிக்குச் சமம் எனக் கொள்ளலாம். அதாவது $p = \dfrac{p_x + p_y + p_z}{3}$. பாகுநிலை அல்லது பிசுபிசுப்பு இல்லாத உராய்வற்ற பாய்மத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு ஏற்படாதாகையால், அந்தப் பாய்மம் பாயும்போதும் ஒரு புள்ளியில் எல்லாத் திசைகளிலும் அழுத்தமானது சமமாக இருக்கும்.

2·3. பாய்மத்தில் அழுத்த வேறுபாடு

படம் 2·2-ல் உள்ளபடி ஒரு ΔA வெட்டுப் பரப்புள்ளதும் ΔL நீளமுள்ளதுமான சமநிலையிலுள்ள சிறிய பாய்மப் பருமனை எடுத்துக் கொள்வோம். அதில் அப்பருமனின் எடையும், அதன்



படம் 2·2. நிலையான தனிமத்தில் விசைகள்

பக்கங்களில் அழுத்த விசைகளும் தொழிற்படுகின்றன. A, B என்ற இடங்களிலுள்ள வெட்டுப் பரப்புகளின் அளவு மிகச் சிறியனவாகையால், அந்தப் பரப்புகளிலுள்ள அழுத்த வேறு பாட்டைப் புறக்கணித்து விடலாம். அந்தப் பருமனானது சமநிலை யிலிருப்பதால், எந்தத் திசையிலும் அதில் தொழிற்படும் விசை களின் கூறுகளின் கூட்டுத் தொகை சுழியாக இருக்க வேண்டும். ஆகவே,

$$\left(p+\frac{\partial p}{\partial y}\triangle y\right)\triangle A-p\triangle A+\rho g\triangle A\triangle L\cos\theta=0$$

ஆனால் $\triangle y=\triangle L\cos\theta$

$$\therefore \frac{\partial p}{\partial y}=-\rho g$$

x, z திசைகளில் விசைகளைக் கூட்டினால் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு களை அடைகிறோம்.

$$\frac{\partial p}{\partial x}=0$$

$$\frac{\partial p}{\partial z}=0$$

இந்த இரண்டு சமன்பாடுகளும் x, z திசைகளில் p-யின் மதிப்பு மாறவில்லை என்பதைக் காட்டுகின்றன. ஆகவே, p-யின் மதிப்பு y திசையில் மட்டுமே மாறுகிறது. அதாவது

$$\frac{\partial p}{\partial y}=-\rho g \qquad (2\cdot2)$$

ஓய்வு நிலையிலுள்ள பாய்மத்தில் y-ன் மதிப்பு அதிகரிக்கும் போது p-ன் மதிப்பு அவ்விடத்திலுள்ள எடையின் வீதத்திற்குக் குறை கிறது. $\triangle y$-ன் மதிப்பு சுழியானால் A-க்கும் B-க்கும் இடையே அழுத்த வேறுபாடு இல்லை. ஆகவே, எங்கு g-ன் மதிப்பு ஒரே அளவினதாக இருக்கிறதோ அங்கு p-ன் மதிப்பு சமமாகும். அதா வது பூமியின் மையத்தை மையமாகக் கொண்ட கோளங்களின் பரப்புகளில் p-ன் மதிப்பு ஒரே அளவினதாக இருக்கும். நாம் சிறிய தூரங்களையே பொறியியற் துறையில் கையாளுவதால், பூமியின் பரப்பையும் கிடையெனக் கொள்ளலாம். அவ்வாறு கொண்டால் 8 கிமீ. தூரத்திற்கு உயரத்தில் 1 செமீ. மாறுபாடுதான் ஏற்படு கிறது. இந்த மாறுபாடு மிகக் சிறியதாக இருப்பதால் இதைப் புறக்கணித்துவிடலாம்.

ஒரு பாய்மத்தில் எந்த உயரத்திலும் அழுத்தத்தை அறிய வேண்டுமானால், சமன்பாடு 2·2-ஐ ஏதாவது ஒரு திட்டவரை

மட்டத்திலிருந்து (datum) தொகையிட வேண்டும். அப்போது

$$p = \int_0^y \rho g \, dy$$

g என்ற புவியீர்ப்பு முடுக்கம் y என்ற ஆழதூரத்தில் மாறு பாடற்றதெனக் கொண்டு, அமுக்கமற்ற பாய்மத்தில் (incompressible fluid) ρ-ன் மதிப்பு மாருததால்,

$$p = wy + \text{மாறிலி}$$

மேலே வருவித்த சமன்பாட்டிற்கு நீர்நிலையியற் சமன்பாடு (hydrostatic equation) எனப் பெயர். இச்சமன்பாடு எல்லா அமுக்க மற்ற பாய்மங்களுக்கும் θ-வின் மதிப்பு எதுவாக இருந்தா லும் பொருந்தும். 1, 2 என்ற எந்த இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே யுள்ள அழுத்தத்தை எடுத்துக் கொண்டால்,

$$p_2 - p_1 = w(y_1 - y_2)$$

அல்லது

$$\frac{p_1}{w} - \frac{p_2}{w} = y \quad \text{இதில்} \quad y_2 - y_1 = y \qquad (2\cdot3)$$

அழுத்தத் தகைவான p-க்கும், அப்பாய்மத்தின் அலகு பருமனெடை யான w-க்குமுள்ள விகிதமானது நீள அலகை உடையது. ஆகவே, அழுத்தத்தை உயரமாக எளிதில் அனுமானித்துக் கொள்ள வசதி யாக இருக்கிறது. இதையே நாம் அழுத்த உயரம் அல்லது அழுத்தத் தலைப்பு (pressure head) என்று வழங்குகிறோம். அழுத் தத்தை அந்த அந்த பாய்மத்தின் அழுத்த உயரம் அல்லது அழுத் தத் தலைப்பால் குறிப்பிடுவது வசதியாக இருக்கிறது. இம்முறை நீரியல், பாய்ம எந்திரவியல் முதலியவற்றில் விரிவாகக் கையாளப் படுகிறது.

வளிமண்டலத்திற்கு (atmosphere) திறந்திருக்கும் திரவத்தின் மேல்மட்டத்தில் புள்ளி 2 எடுக்கப்படுமானல் சமன்பாடு 2·3,

$$p_1 - p_a = wy$$

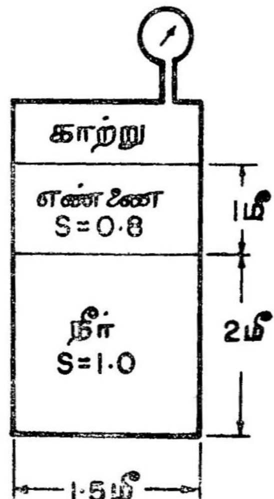
இதில் p_a வளிமண்டல அழுத்தத்தைக் குறிக்கும். இவ் வழுத்தம் பூமியின் மேற்பரப்பில் ஒரே நிலைத்தாக உள்ளதால், அழுத்தத்தை அளக்க அதையே ஒரு குறிப்பு மட்டமாகப் (datum) பயன்படுத்தினல்

$$p = wy \qquad (2\cdot4)$$

என்ற சமன்பாடு கிடைக்கும். வளிமண்டல அழுத்தத்தை அடிப் படையாக வைத்து அளக்கப்படும் அழுத்தத்திற்கு மானி அழுத்தம்

(gauge pressure) எனப்பெயர். இது பற்றி மேலும் பகுதி 2·4-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

மாதிரிக் கணக்கு 2 1. படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள 1·5 மீ. சதுர அடித்தளமுள்ள பாத்திரத்தின் அடிப்பாகத்தில் தொழிற் படும் விசை என்ன? அழுத்தமானியில் காட்சிப் பதிவு 1·5 கிகிஎ/ச.செமீ. (147 கிநி/மீ²) ஆகும்.



அடித்தளத்தில் ஏற்படும் அழுத்தச் செறிவு $= (0{\cdot}2+0{\cdot}08+1{\cdot}5)$

$= 1{\cdot}78$ கிகிஎ/செமீ²

மொத்த விசை $= 150\times150\times1{\cdot}78$

$= 4\times10^4$ கிகிஎ.

SI அலகு

அடித்தளத்தில் ஏற்படும் அழுத்தச் செறிவு

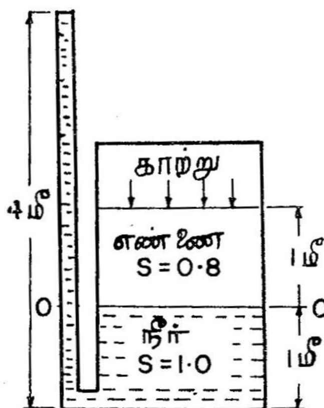
$= (0{\cdot}2+0{\cdot}08+1{\cdot}5)\ 98{\cdot}1$

$= 174{\cdot}6$ கிநி/மீ²

மொத்த விசை $= 1{\cdot}5\times1{\cdot}5\times174{\cdot}6$

$= 392$ கிநி.

மாதிரிக் கணக்கு 2·2. படத்திலுள்ள ஒரு மூடிய தொட்டியில் பகுதி நீரும் பகுதி எண்ணெயும் இருக்கின்றன. எண்ணெயின் ஒப்பு அடர்த்தி 0·8. கொடுக்கப்பட்டுள்ள நிலைமைக்கு எண்ணெக்கு மேலுள்ள காற்றின் அழுத்தச் செறிவு என்ன?



OO என்ற கிடைக்கோட்டில் அழுத்தம் சமமாக இருக்க வேண்டும். சமநிலைச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

MKS அலகு

$$3\times1000 = 1\times800+p$$

$$\therefore p = 2{,}200 \text{ கிகிஎ/மீ}^2$$

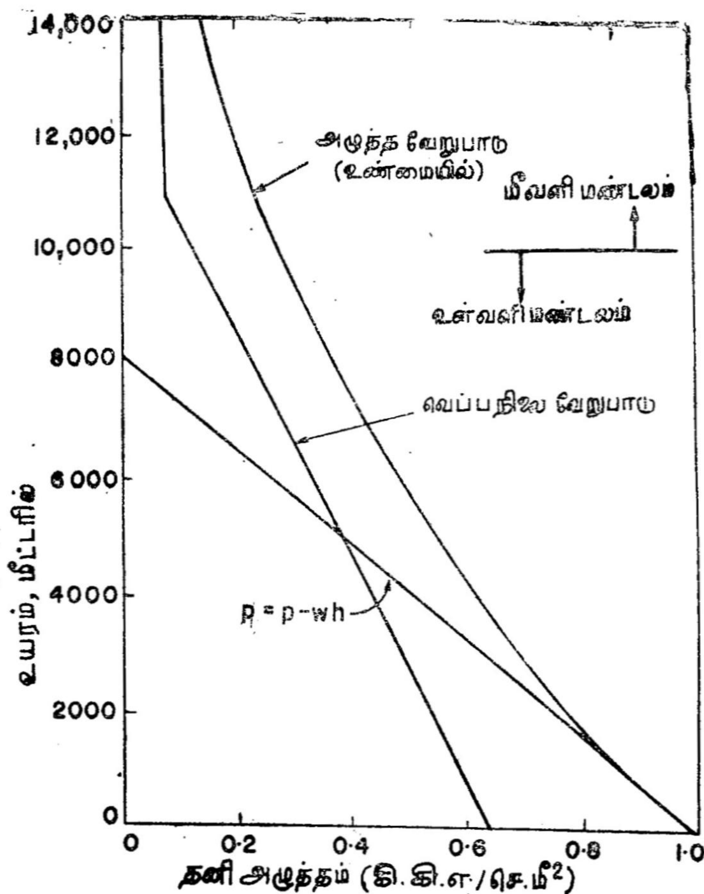
SI அலகு

$$3\times98{\cdot}1 = 1\times98{\cdot}1\times0{\cdot}8+p$$

$$\therefore p = 215{\cdot}8 \text{ கிநி/மீ}^2$$

2·3. அமுக்கப் பாய்மத்தில் அழுத்த வேறுபாடு

அமுக்கப் பாய்மத்தில் அடர்த்தியானது அழுத்தத்தால் வேறுபடுவதால் சமன்பாடு 2·2-ஐ p-க்கும் ρ-க்குமுள்ள தொடர்பு தெரிந்தாலன்றி தொகுக்க முடியாது. காற்றானது அமுக்கப் பாய்மமாதலால் அடர்த்தி வேறுபாடு எவ்வாறு அழுத்தத்தைப் பாதிக்கிறது என்பது பற்றி காற்று நிலையியலில் (aerostatics) படிப்போம்.



படம் 2·3. வளிமண்டலத்தில் அழுத்தம்

வளிமண்டலத்தில் காற்றின் வெப்பநிலையும், அழுத்தமும் எவ்வாறு உயரத்திற்கேற்ப மாறுபடுகிறது என்பது படம் 2·3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. வெப்பநிலையானது 1 மீட்டருக்கு 0·0065°C என்ற வீதத்தில் 11,000 மீ. உயரம் வரை சீராகக் குறைகிறது.

பின்னர் — 57°C வெப்பநிலையில் 32,000 மீ. உயரம் வரையில் மாறாமல் இருக்கிறது. வளிமண்டலத்தில் அழுத்தத்திற்கும், அடர்த்திக்குமுள்ள தொடர்பு வெப்ப மாற்றீடற்ற (adiabatic) நிலையில் ஏற்படுவதாகக் கொண்டால்,

$$\frac{p}{\rho^{\kappa}} = c \tag{2·5}$$

இதில் c மாறிலியாகும் κ-ன் மதிப்பு காற்றிற்கும் பொதுவாக 1·4 என எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. சமன்பாடு 2·2-ல் ρ-வின் மதிப்பை இட்டால்,

$$y_2 - y_1 = -\frac{c}{g}\int_1^2 p^{-\frac{1}{k}}\,dp$$

இதைத் தொகையிட்டுச் சரிப்படுத்தினால்,

$$y = y_2 - y_1 = \frac{k}{k-1}\,\frac{p_1}{\rho_1 g}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] \tag{2·6}$$

ஆனால் மீவளிமண்டலத்தில் (stratosphere) வெப்பநிலை ஒரே மதிப்புள்ளதாக இருப்பதால், அழுத்தத்திற்கும் அடர்த்திக்குமுள்ள தொடர்பு வெப்பநிலை மாறாதன்மையுள்ளது (isothermal) எனக் கொண்டு $\frac{p}{\rho} = c$ என்ற தொடர்பை சமன்பாடு 2·2-ல் இட்டால்,

$$y_2 - y_1 = -\frac{c}{g}\int_1^2 \frac{dp}{p}$$

(அ து) $$y = y_2 - y_1 = \frac{p_1}{\rho_1 g}\log_e\frac{p_1}{p_2} \tag{2·7}$$

மேலே உள்ள சமன்பாடு ஒரே வெப்பநிலையுள்ள இலட்சிய வாயுக்களுக்குப் பொருந்தும்.

மாதிரிக் கணக்கு 2·3. காற்றின் அலகு எடை கடல்மட்டத்தில் 15°C வெப்பநிலையில் 1·226 கிகிள/மீ³ (12·027 நி/மீ³); காற்றின் அழுத்தம் 10,330 கிகிள/மீ² (101·13 கிநி/மீ²). 3 கிமீ உயரத்திலுள்ள காற்றின் எடையையும் அழுத்தத்தையும் கணக்கிடு. (κ = 1·238.)

$w_1 = 1{\cdot}226$ கிகிஎ/மீ³ $\qquad y_1 = 0$

$p_1 = 10{,}330$ கிகிஎ/மீ² $\qquad y_2 = 3000$ மீ

வெப்ப மாற்றீடற்ற நிலைமையை எடுத்துக்கொண்டு சமன்பாடு 2·6-ஐப் பயன்படுத்தினல்,

$$3000 = \frac{1{\cdot}238}{0{\cdot}238} \times \frac{10{\cdot}330}{1{\cdot}226}\left[1 - \left(\frac{p_2}{10330}\right)^{\frac{0{\cdot}238}{1{\cdot}238}}\right]$$

பலன் கண்டால்,

$$p_2 = 7140 \text{ கிகிஎ/மீ}^2$$

வெப்ப மாற்றீடற்ற நிலைமைக்கு,

$$\frac{p_1}{w_1{}^k} = \frac{p_2}{w_2{}^k}$$

(அ-து) $$w_2 = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{k}} w_1$$

$$= \left(\frac{7140}{10330}\right)^{\frac{1}{1{\cdot}328}} \times 1{\cdot}226 = 0{\cdot}91 \text{ கிகிஎ/மீ}$$

SI அலகு

$w_1 = 12{\cdot}027 =$ நி/மீ³ $\qquad y_1 = 0$

$p_1 = 101{\cdot}13$ கிநி/மீ² $\qquad y_2 = 3000$ மீ

சமன்பாடு 2·6-ஐப் பயன்படுத்தி

$$p_2 = 70{\cdot}04 \text{ கிநி/மீ}^2$$

வெப்ப மாற்றீடற்ற நிலைமைக்கு,

$$w_2 = 1{\cdot}226\left(\frac{70{\cdot}04}{101{\cdot}13}\right)^{\frac{1}{1{\cdot}238}} = 8{\cdot}93 \text{ நி/மீ}^3$$

மாதிரிக் கணக்கு 2·4. கடல் மட்டத்திலிருந்து 13000 மீ உயரத்தில் வளிமண்டலத்தில் காற்றின் எடை 0·31 கிகிஎ/மீ³ ஆகும். அங்கே காற்றின் வெப்பநிலை — 57°C என்று எடுத்துக் கொண்டு 20,000 மீ உயரத்தில் காற்றழுத்தம் என்ன? ($\kappa = 1{\cdot}238$.)

கடல் மட்டத்தில் $p_0 = 10332$ கிகிஎ/மீ^{2}; $w_0 = 1{\cdot}226$ கிகிஎ/மீ^{3}
13,000 மீ உயரத்தில் $w_1 = 0{\cdot}31$ கிகிஎ/மீ^{3}

வெப்ப மாற்றீடற்ற நிலைமையை எடுத்துக்கொண்டு,

$$p_1 = \left(\frac{w_1}{w_0}\right)^k p_0$$

$$= \left(\frac{0{\cdot}31}{1{\cdot}226}\right)^{1{\cdot}238} \times 10332 = 1885 \text{ கிகிஎ/மீ}^2$$

13,000 மீ உயரத்திற்கும் 20,000 மீ உயரத்திற்குமிடையில் காற்று வெப்பநிலை மாருத தன்மையுள்ளது எனக் கொண்டு

$$y_2 - y_1 = \frac{p_1}{\rho_1 g} \log_e \frac{p_1}{p_2}$$

$$7000 = \frac{1885}{0{\cdot}31} \log_e \frac{1885}{p_2}$$

$$\frac{1885}{p_2} = e^{1{\cdot}15} = 3{\cdot}16$$

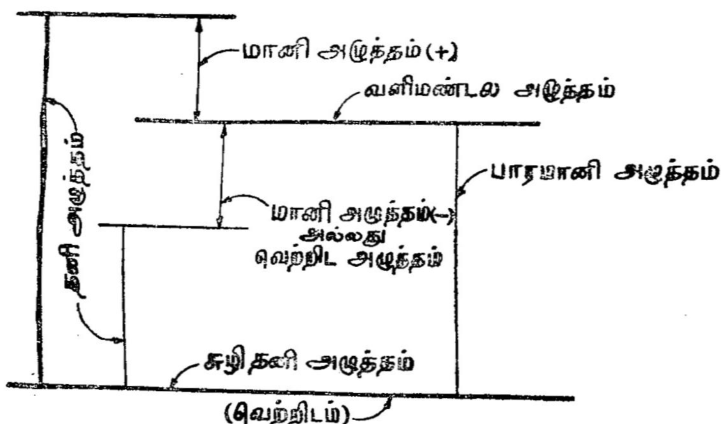
ஆகவே, $p_2 = 596$ கிகிஎ/மீ^{2}.

2·4. அழுத்தத்தை அளத்தல்

எல்லா அளவைகளும் எதையாவது அடிப்படையாகக் கொண்டு அமைக்கப்படுகின்றன. அதேபோல் அழுத்தமும் வளிமண்டலத்தின் அழுத்தத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டோ அல்லது வெற்றிடத்திலுள்ள தனி அழுத்தத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டோ அளக்கப்படுகிறது. வளிமண்டல அழுத்தத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டு அளக்கப்பட்டால், அதை மானி அழுத்தம் (gauge pressure) என்றும், வெற்றிடத்தை அடிப்படையாகக் கொண்டு அளக்கப்பட்டால் தனி அழுத்தம் (absolute pressure) என்றும் அழைக்கிருேம். வாயுக்களின் சிறப்பியல்புகள் தனி அழுத்தத்தைச் சார்ந்திருப்பதால், வாயுக்கள் பற்றிய கணக்குகளில் தனி அழுத்தத்தைப் பயன்படுத்துகிருேம். ஆனுல் பெரும்பாலான அழுத்தமானிகள் மானி அழுத்தத்தை அளக்கின்றன. மானி அழுத்தத்திலிருந்து தனி அழுத்தத்தை அடைவதற்கு மானி அழுத்தத்தையும், வளிமண்டல அழுத்தத்தையும் கூட்டவேண்டும். தனி அழுத்தம், வளிமண்டல அழுத்தம், மானி

அழுத்தம் இவற்றிற்குள்ள தொடர்புகள் படம் 2·4-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளன. மானி அழுத்தத்தை எழுதும்போது மானி அழுத்தம் என்று குறிப்பிடுவது வழக்கத்தில் இல்லை. ஆனால் அழுத்தத்தை வெற்றிட (vacuum) அழுத்த அடிப்படையில் எழுதும் போது தனி அழுத்தம் (absolute pressure) எனக் குறிப்பிடவேண்டும். மானி அழுத்தம் எதிராக (negative) இருக்குமானால் அதை வெற்றிட அழுத்தம் (vacuum pressure) என்றும் கூறுகிறோம். வளிமண்டல அழுத்தம், வெப்பநிலை, இடத்தின் அட்சரேகை, இடத்தின் உயரம் முதலியவற்றைப் பொறுத்திருப்பதால், தரவளிமண்டல அழுத்தமான 10330 கிகி/மீ^{2} (101·13 கிநி/மீ^{2}) பொறியியற் துறையில் உபயோகத்திலுள்ளது.

ஒரு இடத்திலுள்ள வளிமண்டல அழுத்தம் பாரமானியால் (barometer) அளக்கப்படுகிறது. அதேபோல ஒரு புள்ளியிலுள்ள



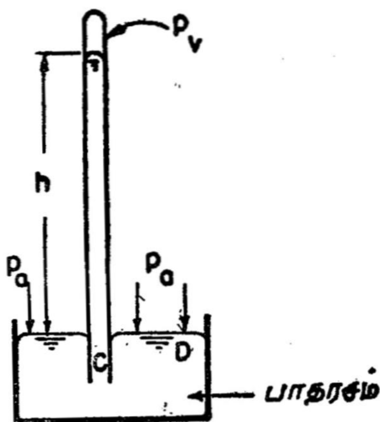
படம் 2·4. அழுத்த அளவைகளுக்குள்ள தொடர்புகள்

அழுத்தமானது அழுத்தமானியாலோ (manometer), அல்லது எந்திரமானியாலோ (mechanical gauge) அல்லது குழாய் மானியாலோ (piezometer) வளிமண்டல அழுத்த அடிப்படையில் அளக்கப்படுகிறது. இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையேயுள்ள அழுத்த வேறுபாட்டை அளக்க U-குழாய் அழுத்தமானி பயன் படுகிறது.

2·5. பாரமானி

ஒரு இடத்திலுள்ள வளிமண்டல அழுத்தம் இக் கருவியால் அளக்கப்படுகிறது. பாதரச பாரமானியின் அமைப்பு படம்

2·5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒரு பக்கம் மூடியுள்ள நீண்ட, சுத்தமான, தடித்த 1 மீட்டர் நீளமுள்ள கண்ணாடிக் குழாயில் சுத்தமான பாதரசம் நிரப்பப் படுகிறது. அதன் திறந்த முனை ஒரு பாதரசத் தொட்டியில் இருக்கும்படி தலைகீழாக நிறுத்தப்படுகிறது. நுண்புழை விளைவுகளைத் தடுக்கக் குழாயானது போதுமான விட்டமுள்ளதாக இருக்க வேண்டும். பாதரசத்தின் ஆவியழுத்தம் மிகக் குறைவானதாலும், அதன் அடர்த்தி அதிகமானதாலும் பாதரசம் பாரமானிப் பாய்மமாகப் பயன்படுத்தப் படுகிறது. புள்ளிகள் Cயும் Dயும் கிடைத்தளத்தில் ஒரே ஊடகத்திலிருப்பதால் அவற்றின் அழுத்தச் செறிவு அதாவது அழுத்தம் ஒரே அளவினதாக இருக்கவேண்டும். பாதரசத்தின் அலகு பருமனெடை w ஆகவும், பாதரச ஆவியழுத்தம் pv ஆகவும் இருக்குமானால்.



படம் 2·5. பாதரச பாரமானி

$$p_a = p_D = p_C = wh + pv$$

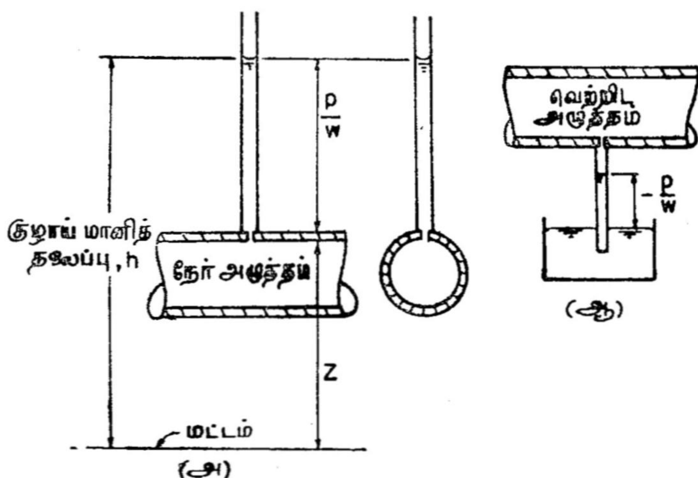
பாதரச ஆவியழுத்தம் 0·16 நி/மீ² ஆக இருப்பதால், அது புறக்கணிக்கப்படுகிறது. ஆகவே, வளிமண்டல அழுத்தம் p_a ஆனது wh ஆகிறது. வளிமண்டல அழுத்தத்தை பாதரசத்தின் உயரமாக எழுதினால், தரவளிமண்டல அழுத்தமானது 760 மிமீ. ஆகும். இது சுத்தமான நீரில் 10·33 மீ உயரத்திற்குச் சமமாகும்.

வளிமண்டல அழுத்தம் அனிராய்டு பாரமானி (Aneroid barometer) என்ற கருவியாலும் அளக்கப்படுகிறது. வெற்றிடத்தை உட்கொண்ட ஒரு உலோகத் துருத்தி (bellow) வளிமண்டல அழுத்தத்திற்கேற்ப சுருங்கவோ அல்லது விரியவோ செய்கிறது. இந்தத் துருத்தியின் இடமாறுபாடு எந்திர முறையில் ஒரு குறிமுள்ளுடன் இணைக்கப்பட்டு வளிமண்டல அழுத்தத்தை அளக்கப் பயன்படுகிறது.

2·6. குழாய்மானி (Piezometer)

ஒரு புள்ளியிலுள்ள அழுத்தத்தை வளிமண்டல அடிப்படையில் அளப்பதற்கான எளிய சாதனம் இதுவே. எந்தப் புள்ளியில்

அழுத்தமானது அளக்கப்பட வேண்டுமோ, அங்கே ஒரு ஒளிபுகும் (transparent) திறந்த நீண்ட குழாயானது செங்குத்தாகப் பொறுத்தப்படுகிறது. இந்த குழாய்க்குக் குழாய்மானி (piezometer) எனப் பெயர். அழுத்தம் அளக்கப்பட வேண்டிய புள்ளியில் போதுமான விட்டத்திற்கு நேர்குத்தாக ஒரு துளை இடப்படுகிறது. இந்தத் துளைக்குக் குழாய்மானித் துளை (piezometric opening) எனப் பெயர். இந்தத் துளையோடு நீண்ட, செங்குத்தான குழாய் இணைக்கப்படுகிறது. திரவமானது இத் துளை வழியாக வெளிவந்து நீண்ட குழாயில் அதன் அழுத்த உயரம் வரை நிரம்புகிறது. இந்த உயரம் h-ஐ அளந்து, அந்த இடத்திலுள்ள அழுத்தத்தை $p=wh$ என்ற சமன்பாட்டால் அறியலாம். உயரமானது நுண்புழை விளைவுகளால் பாதிக்கப் படாமலிருக்க குழாயின் விட்டம் பெரியதாக இருக்க வேண்டும்.



படம் 2·6. குழாய்மானி

இந்த குழாயிலுள்ள திரவத்தின் உயரம், துளையின் மட்ட உயரம் (datum head), இவற்றின் கூட்டுத் தொகை குழாய்மானித் தலைப்பு (piezometric head) என அழைக்கப்படுகிறது. இதை h-ல் குறித்தால்,

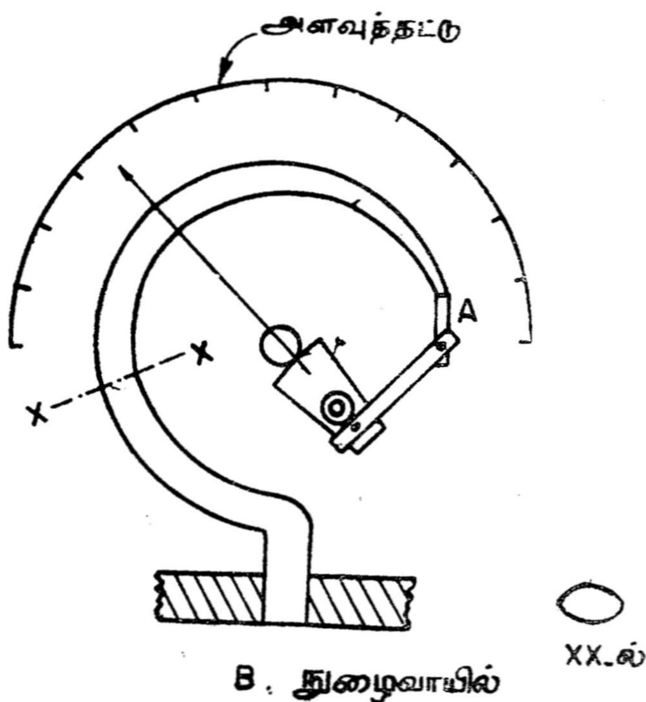
$$h=\frac{p}{w}+z \qquad (2{\cdot}8)$$

நேர் அழுத்தத்தையும், எதிர் அழுத்தத்தையும் அளக்க எவ்வாறு குழாய்மானியைப் பயன்படுத்தலாம் என படம் 2·6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. எதிர் அழுத்தத்தை அளக்கப் பயன்படும்

அமைப்பு படம் 2·6-(ஆ)ல் உள்ளது. அழுத்த உயரத்தை அறியப் பயன்படும் திரவம் பாய்மக்கடத்தியில் (conduit) பாயும் பாய் மத்திலிருந்து பிறைத்தலம் (meniscus) நன்ருகத் தெரிவதற்காக வேமுென்ருக இருக்க வேண்டும். வாயுவிஞலுண்டாகும் நேர் அழுத்தத்தைக் குழாய்மானியால் அளக்க முடியாது.

2·7. எந்திர அழுத்தமானிகள் (Mechanical Pressure Gauges)

பலவகை எந்திர அழுத்தமானிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அவற்றுள் படம் 2·7-ல் உள்ள போர்டன் அழுத்தமானி (Bourdon gauge) அமைப்பில் மிக எளிதாகவும், விலை மலிவாகவும் இருப்ப



படம் 2·7. போர்டன் அழுத்தமானி

தால் பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இந்த அமைப்பில் நீள்வட்ட (elliptical), குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புடைய ஒரு முனையில் மூடியுள்ள ஒரு வளைந்த உலோகக் குழாய் உள்ளது. இந்தக் குழாயின் திறந்த முனை எந்த இடத்தில் அழுத்தத்தை அளக்க வேண்டுமோ, அந்த இடத்தில் பொறுத்தப்படுகிறது. இப்போது இந்தக் குழாயிலுள்ள அழுத்தமானது வளிமண்டல

அழுத்தத்திற்கு அதிகமாகவோ அல்லது குறைவாகவோ இருப்பதைப் பொறுத்து இந்த வளேவின் ஆரம் முறையே அதிகரிக்கவோ அல்லது குறையவோ செய்கிறது. இதனுல் இந்தக் குழாயின் மூடிய முனே இடம் பெயர்கிறது. இந்த இடப் பெயர்வானது எந்திரமுறையில் ஒரு குறிமுள்ளே (pointer) நகர்த்தப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. குழாயின் உள்ளும், புறமும் ஒரே அழுத்தம் இருக்கும்போது குறிமுள் சுழி மதிப்பைக் காட்டும். இந்த அமைப்பால் நேர், எதிர் அழுத்தங்களே அளக்கலாம். ஒரு அளவுத் தட்டில் (dial) குறிமுள்ளின் இடத்திற்கேற்ப பல அழுத்தச் செறிவுகள் குறிக்கப்படுகின்றன. இந்த மானி தொழிற்படும் முறை இதிலுள்ள வளேந்த உலோகக் குழாயின் மீட்சித் தன்மையைப் பொறுத்திருப்பதால், இம்மானியை அடிக்கடி அளவு திருத்தம் (calibration) செய்து கொள்ளவேண்டும். இந்த மானியால் மிகச் சரியான அளவுகளே அளக்க முடியாது.

மற்ருெரு வகை அழுத்தமானி அனிராய்ட் பாரமானியை ஒத்த அமைப்பை உடையது. ஒருதுருத்தியானது அழுத்த மாறுபாட்டிற் கேற்ப முன்னும் பின்னும் நகருகிறது. இந்தச் சலனமானது ஒரு மின்சார வரிச்சுருள் (solenoid) அல்லது விகாரமானி (strain gauge) யோடு இணேக்கப்பட்டு அதனுல் ஏற்படும் மின் மாறுதல்கள் அல்லது விகாரங்கள் முறையே அழுத்தத்தைக் காட்டப் பயன் படுத்தப்படுகின்றன.

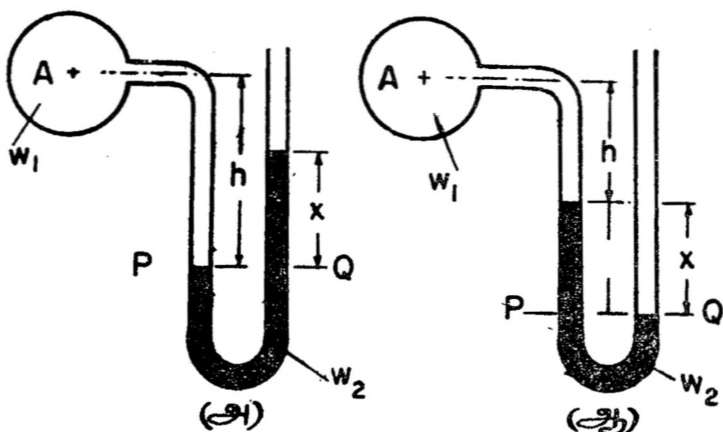
2·8. அழுத்தமானி (Manometer)

அழுத்தத்தை அளக்கப் பயன்படும் அமைப்புகளுக்கு அழுத்த மானிகள் எனப் பெயர். இங்கே சில அழுத்தமானிகளேப் பற்றிப் படிப்போம்.

தொடர்வான, ஒரு படித்தான (homogeneous) ஊடகத்தில், கிடைத்தளத்தில் பாய்மமானது ஓய்வு நிலேயிலிருக்கும்போது எந்த இடத்திலும் அழுத்தமானது சமமாக இருக்கவேண்டும் என்ற கொள்கை அழுத்தமானிகளில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. அழுத்த வேறுபாடு அல்லது அழுத்தத்தை அறிய கீழ்க்கண்ட முறையைக் கையாளவேண்டும்: (1) எந்த ஒரு முனேயிலாவது அழுத்தத்தின் மதிப்பு தெரியுமானுல் அந்த முனேயிலிருந்து ஆரம்பிக்கவும். (2) மேலேயுள்ள கொள்கையின் அடிப்படையில் மறுமுனேயிலுள்ள அழுத்தத்தைக் கணிக்கவும். (3) திரவத்தில் மேற்பாகம் போகப் போக அழுத்தம் குறைகிறது; கீழ்ப்பாகம் போகப் போக அழுத்தம் அதிகரிக்கிறது. ஆகவே, நாம் எந்த முனேயில் அழுத்தத்தின் மதிப்பு தெரியுமோ அங்கேயிருந்து ஆரம்பித்து நகரும்போது, மட்டக்

குறைவால் அழுத்தம் அதிகரிக்கிறது ; மட்ட அதிகரிப்பால் அழுத்தம் குறைகிறது. இதை சில உதாரணங்களால் விளக்குவோம்.

U-குழாய் அழுத்தமானி (U-tube Manometer) : பொதுவாகப் பயன்படுத்தப்படும் U-குழாய் அமைப்பை படம் 2·8-ல்



படம் 2·8. U-குழாய் அழுத்தமானி

காணலாம். U-குழாயானது ஒளிபுகும் கண்ணாடி அல்லது பிளாஸ்டிக் போன்ற பொருளால் செய்யப்படுகிறது. குழாயின் அடிப்பாகம் மற்ற திரவங்களோடு கலக்காத அதிக அடர்த்தியுள்ள திரவத்தால் நிரப்பப்படுகிறது. அத்திரவத்தின் எடை w_2 ஆகவும், குழாயில் பாயும் பாய்மத்தின் எடை w_1 ஆகவும் இருக்கட்டும். இப்போது குழாயின் மையமான A-ல் அழுத்தத்தைக் காண வேண்டும். அழுத்தமானித் திரவத்தின் வழியாக அதன் ஒரு முனையிலிருந்து மற்றொரு புயத்தில் அதே திரவத்தின் வழியாகச் செல்லும்படி PQ என்ற கிடைக்கோட்டை வரைக. P, Q என்ற இரண்டு புள்ளிகளிலும் அழுத்தம் ஒரே அளவினதாக இருக்க வேண்டும். படம் 2·8(அ)-வை எடுத்துக்கொண்டால்,

$$p_a + xw_2 = hw_1 + p_A \qquad (2·9)$$

இதில் p_a வளிமண்டல அழுத்தமாகும். w_1-ன் மதிப்பு w_2-ன் மதிப்போடு ஒப்பிடும்போது புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு சிறியதாக இருக்குமானால்,

$$p_A = p_a + xw_2$$

p_A-வின் மதிப்பு p_a-வை விடக் குறைவாக இருக்குமானால் புயம் P-யிலுள்ள திரவத்தின் மட்டம் உயரத்திலிருக்கும். (படம் 2·8(ஆ) காண்க.)

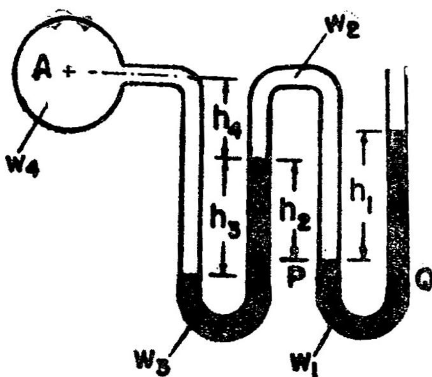
படம் 2·8(ஆ)·ல் சமநிலைக் கொள்கையைப் பயன்படுத்தினால்,

$$p_a = w_2 x + w_1 h + p_A \qquad (2{\cdot}10)$$

இப்போது $w_1 << w_2$ ஆக இருக்குமானால்,

$$p_A = p_a - w_2 x$$

மேலே உள்ள சமன்பாட்டில் p_A-வின் மதிப்பு தனி அழுத்தத்தில் உள்ளது. p_a-வின் மதிப்பு சுழி என எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டால், p_A-வின் மதிப்பு மானி அழுத்தமாகும்.



படம் 2·9.
தொடர் U-குழாய் அழுத்தமானி

அழுத்தமானித் திரவம் ஒரு U குழாயின் புயத்திற்குள் அடங்காதபடி அவ்வளவு அதிகமாக புள்ளி A-ல் அழுத்தம் இருக்குமானால், U-குழாய்களைத் தொடர் வரிசையில் பயன்படுத்தலாம். அப்படிப்பட்ட அமைப்பு படம் 2·9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

இப்படிப்பட்ட தொடர் U-குழாய் அழுத்தமானியில் ஒவ்வொரு பாகத்திலும் வெவ்வேறு திரவங்களையுடைய பொதுப்படையான அமைப்பை எடுத்துக்கொண்டு p_A-வின் மதிப்பைக் காண,

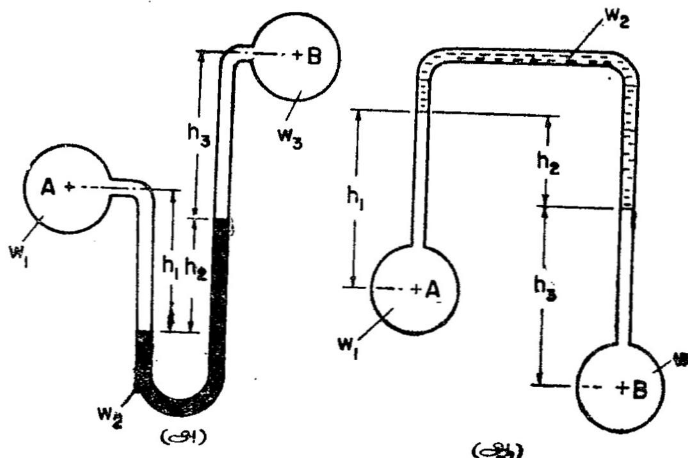
$$p_a + w_1 h_1 - w_2 h_2 + w_3 h_3 - w_4(h_3 + h_4) = p_A \text{(தனி அழுத்தம்)}$$

$$w_1 h_1 - w_2 h_2 + w_3 h_3 - w_4(h_3 + h_4) = p_A \text{ (மானி அழுத்தம்)}$$

அழுத்த வேறுபாடு மானிகள் (Differential Manometers) : இரண்டு புள்ளிகளிடையேயுள்ள அழுத்த வேறுபாட்டை U-குழாய் அழுத்தமானியால் அறிவதற்கான அமைப்பிற்கு அழுத்த வேறுபாடு மானி எனப் பெயர். படம் 2·10-ல் உள்ளபடி A, B என்ற இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையேயுள்ள அழுத்த வேறுபாட்டை அறிய வேண்டுமானால், அப்புள்ளிகளைத் தனித்தனியே ஒரு U-குழாய் அழுத்த மானியின் இரண்டு புயங்களோடு இணைக்கவும். A,B என்ற இரண்டு குழாய்களின் வழியே பாயும் பாய்மங்களின் எடைகள் w_1, w_3-ஆக இருக்கட்டும். அழுத்தமானித் திரவத்தின்

எடை w_2 ஆக இருக்கட்டும். A என்ற இடத்திலிருந்து ஆரம்பித்து சமநிலைச் சமன்பாட்டை எழுதினால்,

$$p_A + w_1 h_1 - w_2 h_2 - w_3 h_3 = p_B$$



படம் 2·10. அழுத்த வேறுபாடு மானிகள்

$w_1 = w_3$ ஆக இருக்குமானால்,

$$p_A - p_B = w_1(h_3 - h_1) + w_2 h_2$$

அழுத்த வேறுபாட்டை w_1 என்ற திரவத்தின் உயரமாக எழுதினால்,

$$h_A - h_B = \frac{p_A - p_B}{w_1} = h_3 - h_1 + \frac{w_2}{w_1} h_2$$

A-யும் B-யும் ஒரே மட்டத்திலிருக்குமானால் $h_3 - h_1 = -h_2$. எனவே,

$$h_A - h_B = \frac{p_A - p_B}{w_1} = h_2\left(\frac{w_2}{w_1} - 1\right)$$

$$h_A - h_B = \left(\frac{w_2}{w_1} - 1\right) h_2 \qquad (2·11)$$

உதாரணமாக A, B என்ற குழாய்களின் வழியாக நீர் பாய்வதாகவும், அழுத்தமானித் திரவம் 13·6 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள பாதரசமாகவும் இருக்குமானால்,

$$h_A - h_B = (13·6 - 1)\, h_2 = 12·6\, h_2$$

குழாய்கள் A, B-ல் அழுத்தங்கள் வளிமண்டல அழுத்தத்திற்குக் குறைவாக இருந்து, w_2-ன் மதிப்பு w_1, w_3 இவைகளின்

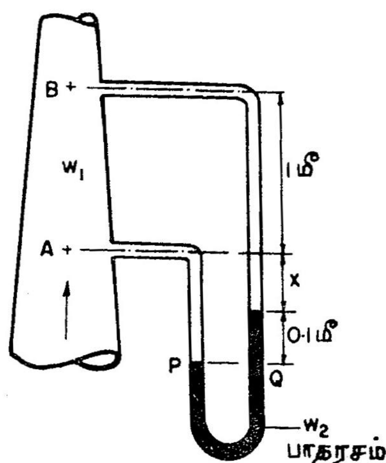
மதிப்புகளுக்குக் குறைவாக இருக்குமானல், படம் 2·10(ஆ)-ல் உள்ளபடி ஒரு தலைகீழ் U-குழாய் (inverted U-tube) அழுத்த மானியைப் பயன்படுத்தலாம். அப்போது

$$p_A - w_1h_1 + w_2h_2 + w_3h_3 = p_B$$

$$p_A - p_B = w_1h_1 - w_2h_2 - w_3h_3$$

ஒரு அழுத்தமாறுபாடு மானியின் உணர்வு நுட்பம் (sensitivity) w_1, w_2 என்ற எடைகளின் வேறுபாட்டைப் பொறுத்தது. வேறுபாடு குறைய உணர்வு நுட்பமும், மானி உயரமும் அதிகரிக்கும்.

மாதிரிக் கணக்கு 2·5. படத்திலுள்ளபடி A, B என்ற இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையேயுள்ள அழுத்த வேறுபாட்டைக் காண ஒரு U-குழாய் அழுத்தமானி பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஒப்பு அடர்த்தி 0·85 மதிப்புள்ள எண்ணெய் குழாய் வழி பாயுமானல் A, B-ல் அழுத்தச் செறிவுகளின் வேறுபாட்டைக் காண். பாதரசம் தவிர மற்ற இடங்கள் முழுவதும் எண்ணெய் இருக்கிறது.



P, Q என்ற புள்ளிகளில் அழுத்தங்கள் சமமாகும். சமநிலைச் சமன்பாடானது,

$$p_A + w_1(x + 0{\cdot}1) = p_B + w_1(1{\cdot}0 + x) + w_2 \times 0{\cdot}1$$

$$p_A - p_B = 0{\cdot}1w_2 + 0{\cdot}9w_1$$

இரண்டு புயங்களிலும் X என்ற தூரத்தில் ஒரே திரவம் இருக்குமானல் X எவ்வளவு உயரம் இருப்பினும் பொருட்டல்ல. கொடுக்கப்பட்ட மதிப்புக்களை சமன்பாட்டில் இட்டால்,

$$h_A - h_B = \frac{p_A - p_B}{w_1} = \left(0{\cdot}1\frac{w_2}{w_1} + 0{\cdot}9\right) = \left(0{\cdot}1 \times \frac{13{\cdot}6}{0{\cdot}85} + 0{\cdot}9\right)$$

$$= 2{\cdot}5 \text{ மீ}$$

$$p_A - p_B = 2{\cdot}5 \times 0{\cdot}85 \times 1000$$

$$= 2125 \text{ கிகௌ}/\text{மீ}^2$$

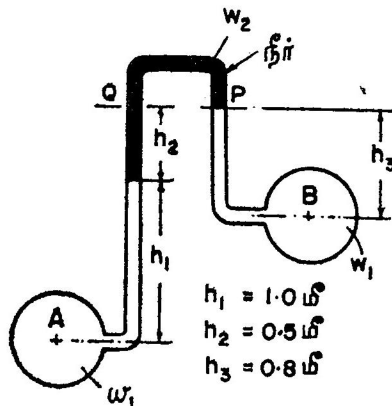
SI அலகு

$$p_A - p_B = 2{\cdot}5 \times 0{\cdot}85 \times 9810 = 20{\cdot}8 \times 10^3 \text{ நி/மீ}^2$$
$$= 20{\cdot}8 \text{ கிநி/மீ}^2.$$

மாதிரிக் கணக்கு 2 6. படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள நிலைமைக்கு தலைகீழ் U-குழாய் அழுத்தமானியைப் பயன்படுத்தி B-ல் அழுத்தச் செறிவைக் காண். குழாய்கள் Aயிலும் Bயிலும் 1·6 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள கார்பன் டெட்ராகுளோரைடு (carbon tetrachloride) திரவம் பாய்கிறது. நீரானது அழுத்தமானித் திரவமாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. A-ல் அழுத்தமானது 3 கிகிஎ/ச.செமீ (294·33 கிநி/மீ²) ஆகும்.

P, Q என்ற புள்ளிகளில் அழுத்தங்கள் சமமாக இருக்க வேண்டும். சமநிலைச் சமன்பாட்டை எழுதினல்,

$$p_A - w_1 h_1 - w_2 h_2 = p_B - w_1 h_3$$
$$p_A - w_1(h_1 - h_3) - w_2 h_2 = p_B$$



MKS அலகில்

$p_A = 3000$ கிஎ/ச.செமீ. என்ற மதிப்பை இட்டால்,
$w_1 = 1{\cdot}6$ கிஎ/க.செமீ., $w_2 = 1$ கிஎ/க.செமீ.
$3000 - 1{\cdot}6\,(100 - 80) - 1 \times 50 = p_B$
$p_B = 2918$ கிஎ/க.செமீ. $= 2{\cdot}92$ கிகிஎ/ச.செமீ.

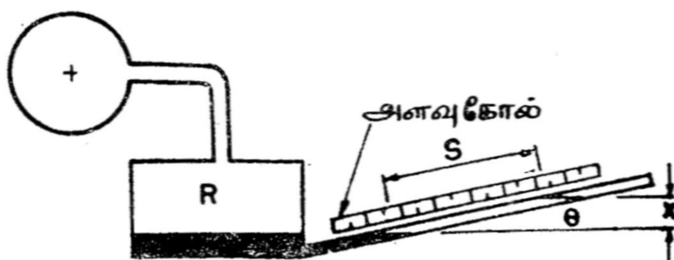
SI அலகில்

$p_A = 294{\cdot}3$ கிநி/மீ² $\qquad w_1 = 15{\cdot}7$ கிநி/மீ³
$w_2 = 9{\cdot}81$ கிநி/மீ³
$294{\cdot}3 - 15{\cdot}7\,(1 - 0{\cdot}8) - 9{\cdot}81 \times 0{\cdot}5 = p_B$
$p_B = 286{\cdot}2$ கிநி/மீ²

2·9. சாய்வு அழுத்தமானி (Inclined Manometer)

தேவையான துல்லியத்திற்கு (accuracy) ஏற்ப அழுத்தமானிகளின் அமைப்புகளை மாற்றி அமைக்கலாம். அழுத்தமானியின் உணர்வு நுட்பத்தை (sensitivity) அதிகரிக்கப் பலவகை அழுத்தமானித் திரவங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. துல்லியத்தை அதிகரிக்கப் பயன்படுத்தப்படும் அழுத்தமானிகளுள் ஒன்றான சாய்வு அழுத்தமானியைப்பற்றிப் படிப்போம்.

படம் 2·11-ல் காட்டியுள்ளபடி அழுத்தமானியின் புயமானது சாய்வாக இருப்பதால் அளவுகோலில் (scale) அளவின் மதிப்பு



படம் 2·11. சாய்வு அழுத்தமானி

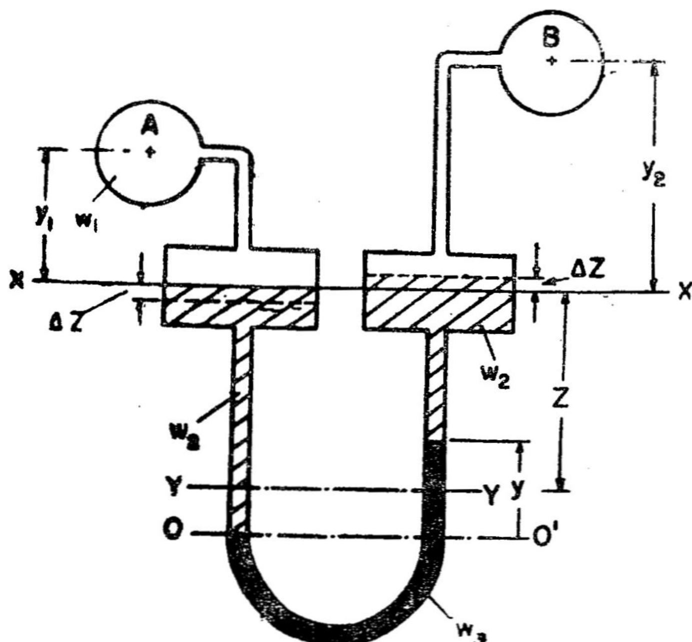
அதிகரிக்கிறது. θ-ன் மதிப்பு குறைவாக இருக்குமானால், அளவுகோல் S-ல் எடுக்கப்படும் அளவின் மதிப்பு அதிகப்படியாகும். ஆனால் பிறைத்தலத்தின் ஓரத்தைத் துல்லியமாக நிர்ணயிக்க முடியாததாதலால், பொதுவாக θ-ன் மதிப்பு 5°க்கு குறைவாக இருக்கும்படி அமைக்கப்படுவதில்லை. அந்த சாய்வு குழாய் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் தொட்டி R-ன் விட்டமானது சாய்வு குழாயின் விட்டத்தைவிடக் குறைந்தது 10 மடங்கு அதிகமுள்ளதாக இருக்கவேண்டும். அப்படி இருந்தால் தொடக்கப் பிழையின்றி (initial error) விளைவுகளைக் குறைக்கலாம்.

அழுத்தமானிகளைப் பயன்படுத்துவதில் கீழ்க்கண்ட எச்சரிக்கைகளைக் கையாள வேண்டும். (1) பாய்மத்தின் அலகு பருமனெடை வெப்பநிலையைச் சார்ந்திருப்பதால், அழுத்தமானியைப் பயன்படுத்தும்போது உள்ள வெப்பநிலைக்கான அலகு எடையைப் பயன்படுத்த வேண்டும். (2) U-குழாய், சாய்வு குழாய் இவற்றின் உள்விட்டமானது 10 மிமீ-க்குக் குறைவாக இருக்குமானல் நுண்புழை விளைவுகள் ஏற்படும். (3) U-குழாய்களின் புயங்களை அழுத்த அமைப்புகளோடு உறுதியான (rigid) குழாய்களால் குறைந்த தூரத்திலிருக்கும்படி இணைக்க வேண்டும்.

(4) அதிக உணர்வு நுட்பத்திற்காக பாய்மங்களின் ஒப்பு எடைகளின் வேறுபாடு குறைவாக இருக்க வேண்டும். (5) அழுத்தமானியின் குழாய், அதை இணைக்கும் குழாய்கள் இவற்றில் காற்றுப் புகாத ஒரே படித்தான பாய்மத்தால் முழுவதும் நிரப்ப வேண்டும். (6) அழுத்தமானியின் குழாய்கள் சுத்தமாக இருக்கவேண்டும்.

2·10. நுண் அழுத்தமானிகள் (Micromanometers)

மிகச் சிறிய அழுத்த வேறுபாடுகளை அளக்கப் பலதரப்பட்ட அழுத்தமானிகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. நுண்திருகுமானியோடு (micro-screw gauge) உருபெருக்க (vernier) சாதனமுள்ள எந்திர அமைப்பையுடைய மானிகளும், ஒளியியல் அடிப்படையில் திரவ மேல்மட்டத்தில் ஏற்படும் மாறுதல்களை ஒளிக்



படம் 2·12. நுண் அழுத்தமானி அமைப்பு

கதிரால் அதிகப்படுத்தி அதிலிருந்து துல்லியமாக அளக்கும் முறைகளும் மிகச் சிறிய அழுத்த வேறுபாடுகளை அளக்கப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மேலுமொரு அழுத்தமானித் திரவத்தை உபயோகித்து மிகச் சிறிய அழுத்த வேறுபாடுகளை அளக்கும் முறை படம் 2·12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த அமைப்பில் ஒரு U-குழாய், A அளவினதான பெரிய குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள இரண்டு

பாத்திரங்களின் அடிப்பாகங்களை இணைக்கிறது. U-குழாயின் வெட்டுப் பரப்பான a, A-ஐ விட மிகச் சிறியது. இந்த அமைப்பில் w_3, w_2 என்ற இரண்டு அழுத்தமானித் திரவங்கள் இருக்கின்றன. மேலே உள்ள பெரிய பாத்திரங்கள் A, B என்ற இடத்திலுள்ள குழாய்மானித் துளைகளோடு (piezometric openings) இணைக்கப் படுவதற்கு முன்னர் X X, Y Y என்ற கிடைக்கோடுகள் திரவங் களின் மேல்மட்டங்களைக் குறிக்கின்றன. A, B யுடன் இணைக்கப் பட்ட பின்னர் எவ்வாறு திரவ மட்டங்கள் மாறுகின்றன என்பது படத்தில் உள்ளது. O, O′ என்ற புள்ளிகள் ஒரே கிடைமட்டத் தில் ஒருபடித்தான திரவத்திலிருப்பதால் அவற்றின் அழுத்தச் செறிவுகள் அப்புள்ளிகளில் சமமாக இருக்கவேண்டும். எனவே,

$$p_A + w_1(y_1 + \triangle z) + w_2\left(z - \triangle z + \frac{y}{2}\right) = p_B + w_1(y_2 - \triangle z) + w_2\left(z + \triangle z - \frac{y}{2}\right) + w_3 y$$

இப்போது $A \triangle z = a\frac{y}{2}$

எனவே,

$$p_A - p_B = -w_1 y_1 + w_1 y_2 + y\left\{w_3 - w_2\left(1 - \frac{a}{A}\right) - w_1\frac{a}{A}\right\}$$

$y_1 = y_2$ ஆக இருக்குமானால்,

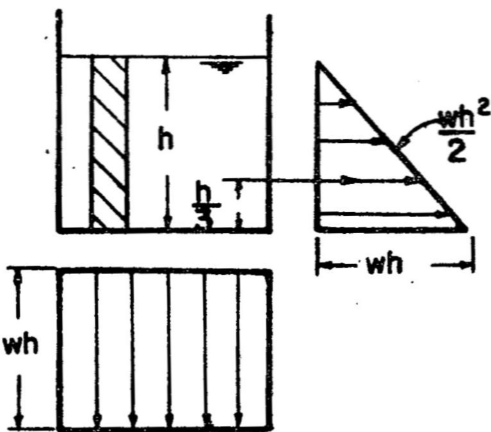
$$p_A - p_B = y\left\{w_3 - w_2\left(1 - \frac{a}{A}\right) - w_1\frac{c}{A}\right\} \qquad (2\cdot12)$$

இதில் $\frac{A}{a}$ -ன் மதிப்பு மிகச் சிறியதாக இருக்குமானால், $p_A - p_B = (w_3 - w_2)y$ ஆகும். ஆகவே, ஒரு குறிப்பிட்ட அழுத்த வேறுபாட்டிற்கு y-ன் மதிப்பு அதிகமாக இருக்கவேண்டுமானால், $(w_3 - w_2)$ மதிப்பு குறைவாக இருக்கவேண்டும்; அதாவது அழுத்தமானித் திரவங்களுக்குண்டான அலகு பருமனெடைகளின் வேறுபாடு குறைவாக இருக்கவேண்டும். இப்படி எடை வேறு பாடு குறைவாக உள்ள திரவங்களை, மற்ற தேவைகளையும் பூர்த்தி செய்யும்படி தேர்ந்தெடுப்பது கடினம். இப்படிப்பட்ட நுண் அழுத்தமானிகளுக்கு உணர்வு நுட்பமானது அதிகமாக இருப்பதால், நிலையற்ற (unsteady) நிலைமைகளுக்கு இவற்றைப் பயன்படுத்துவது கடினம்.

2·11. நீர்நிலையியல் விசைகள் (Hydrostatic Forces)

ஓய்வு நிலையிலுள்ள அமுக்கமற்ற பாய்மங்களில் எந்தப் புள்ளி யிலும் அழுத்தச் செறிவு அதாவது அழுத்தம் wh எனப் பார்த்தோம்.

இதில் w அப்பாய்மத்தின் அலகு பருமனெடையையும், h அந்தப் பாய்மத்தில் அப்புள்ளியிலிருந்து செங்குத்து உயரத்தையோ அல்லது குழாய்மானி உயரத்தையோ குறிக்கும். ஓய்வு நிலையிலுள்ள பாய்மம் சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசைக்கு உட்படாததலால் பாய்மத்திலுண்டாகும் விசைகள் எந்தப் பரப்பிலும் நேர்குத்தாகவே இருக்கின்றன. படம் 2·13-ல் உள்ள பாத்திரத்தில் h ஆழத்திற்கு w எடையுள்ள திரவம் இருப்பதாக எடுத்துக் கொள்வோம். அப்பாத்திரத்தின் கிடை அடித்தளத்தில் அழுத்தச் செறிவு சீரானதாக இருக்கிறது. அடித்தளத்தில் தொழிற்படும் மொத்த விசை அழுத்தச் செறிவிற்கும், அடித்தளப் பரப்பிற்குமுள்ள பெருக்குத் தொகைக்குச் சமம். அந்த விசையானது அழுத்தப் படத்தின் (pressure diagram) எடைமையத்தின் (centroid) வழியாகத் தொழிற்படுகிறது. அந்தப் பாத்திரத்தின் பக்கங்களில் அழுத்தமானது ஆழத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் அதிகரிக்கும். படத்தில் காட்டியுள்ளபடி அழுத்தப்படமானது ஒரு முக்கோணமாக இருக்கும். ஒரு அலகு அகலத்தில் தொழிற்படும் விசையானது $\frac{wh^2}{2}$ -க்குச் சமமாகும். இந்த விசை அந்த அழுத்தப் படத்தின் எடைமையமான அடித்தளத்திலிருந்து $\frac{h}{3}$ உயரத்தில் தொழிற்படும்.



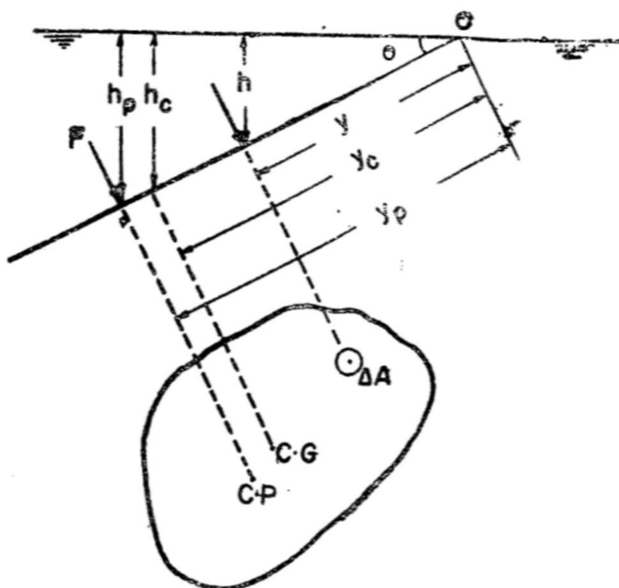
படம் 2·13. பாத்திரத்தின் அடியிலும், பக்கத்திலும் அழுத்தங்கள்

நீர்நிலையியல் அழுத்தங்கள் வளிமண்டல அழுத்தத்தை அடிப்படையாக வைத்துப் பொதுவாக சொல்லப்படுகின்றன. ஆகவே, p_a-ன் மதிப்பு சுழியாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது.

2·12. ஒரு தளப்பரப்பில் தொழிற்படும் விசை (Force on a Plane Surface)

ஓய்வு நிலையில் திறந்த மேல்மட்டத்தையுடைய ஒருபடித்தான திரவத்தில் அதன் மேற்பரப்பிற்கு θ கோணத்தில் சாய்ந்துள்ள

ஒரு தளப்பரப்பை படம் 2·14-ல் உள்ளதுபோல் எடுத்துக் கொள்வோம். இந்தத் தளப்பரப்பு நீட்டப்பட்டால் அது திரவத்தின் மேற்பரப்பை OO என்ற அச்சில் O என்ற புள்ளியில் காகிதத்திற்கு நேர்குத்தாகச் சந்திக்கட்டும். A பரப்புள்ள இந்தத் தளத்தின் எடைமையம் திரவ மட்டத்திலிருந்து h_c ஆழத்திலிருக்கட்டும். இந்தத் தளத்தில் ஒரு பக்கத்தில் செயற்படும் மொத்த நீர்நிலையியற் விசையையும், அது தொழிற்படும் புள்ளியையும் நாம் கண்டறிய வேண்டும். இந்த விசை தொழிற்படும் புள்ளிக்கு அழுத்தமையம் (centre of pressure) எனப் பெயர்.



படம் 2·14. தளப்பரப்பில் தொழிற்படும் விசை

படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள $\triangle A$ என்ற சிறிய பரப்பில் திரவத்தின் அழுத்தம் p ஆகும். அந்தப் பரப்பானது திரவ மட்டத்திலிருந்து h ஆழத்திலிருக்குமானல், p-ன் மதிப்பு wh ஆகும். இதில் w என்பது திரவத்தின் அலகுபருமனெடையாகும். $\triangle A$ என்ற சிறிய பரப்பில் ஏற்படும் நீர்நிலையியல் விசையான $\triangle F$-ன் மதிப்பு $p \triangle A = wh \triangle A = wy \sin\theta . \triangle A$ ஆகும். ஆகவே, தளத்தின் ஒரு பக்கத்தில் தொழிற்படும் மொத்த விசையின் மதிப்பானது,

$$F = \int_A wy \sin\theta \, dA = w \sin\theta \int_A y dA$$

இதில் y என்பது படத்தில் காட்டியுள்ளபடி அளக்கப்பட வேண்டும். இப்போது $\int ydA$ என்பது A என்ற பரப்பிற்கு OO என்ற அச்சிலிருந்து ஏற்படும் முதல் திருப்புதிற(first moment) ஞகும். அதன் மதிப்பு Ay_c ஆகும். ஆகவே, F-ன் மதிப்பானது,

$$F = wAy_c \sin \theta = wAh_c \qquad (2{\cdot}13)$$

இதில் wh_c என்பது அத்தளத்தின் எடைமையத்திலுண்டாகும் அழுத்தத்திற்குச் சமம். ஆதலால் தளத்தில் செயற்படும் விசையானது அதன் சாய்வான θ-க்கு நேரடியாக சம்பந்தமற்றது என்பது தெளிவு. இவ்விசை தளத்திற்கு நேர்குத்தாக தொழிற்படும். இதன் மதிப்பு தளத்தின் பரப்பிற்கும், அதன் எடைமையத்திலுள்ள அழுத்தத்திற்குமுள்ள பெருக்குத் தொகைக்குச் சமம். இனி இந்த விசை எந்தப் புள்ளியில் தொழிற்படும் என்பதைப் பார்ப்போம்.

விசை தொழிற்படும் புள்ளி O-விலிருந்து அந்தத் தளத்தில் y_p என்ற தூரத்தில் இருப்பதாகக் கொள்வோம். இப்போது OO என்ற அச்சிலிருந்து அந்த விசைக்கான திருப்புதிறனும், $\triangle A$ என்ற சிறிய பரப்பில் தொழிற்படும் $\triangle F$ என்ற சிறிய விசைகள் திருப்புதிறனின் தொகையீடும் சமமாக இருக்க வேண்டும். ஆகவே,

$$y_p \cdot F = \int_A wy \sin \theta \, ydA = w \sin \theta \int y^2 dA$$

ஆனல் $\qquad F = w \sin \theta \int ydA$

ஆகவே,

$$y_p = \frac{\int_A y^2 dA}{\int_A ydA} = \frac{\text{A என்ற பரப்பிற்கு OO என்ற அச்சில் இரண்டாம் திருப்புதிறன்}}{\text{A என்ற பரப்பிற்கு OO என்ற அச்சில் முதல் திருப்புதிறன்}}$$

$$= \frac{I_{OO}}{Ay_c}$$

இணை அச்சுத் தேற்றத்திலிருந்து,

$$I_{OO} = I_{C.G} + Ay_c^{\,2}$$

எனவே,

$$y_p = \frac{I_{C.G} + Ay_c^2}{Ay_c} = \frac{I_{C.G}}{Ay_c} + y_c$$

ஆனல்

$$h_p = y_p \sin\theta = \left(\frac{I_{C.G}}{Ay_c} + y_c\right)\sin\theta$$

$$\therefore \quad h_p = h_c + \frac{I_{C.G}\sin^2\theta}{Ah_c} \qquad (2{\cdot}14)$$

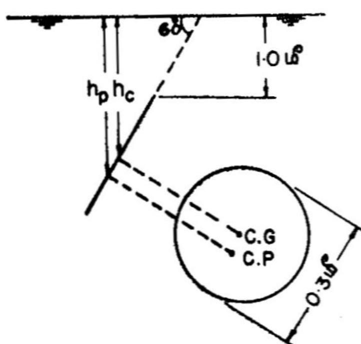
மூழ்கிய ஒரு தளப்பரப்பில் அதன் இரு பக்கங்களிலும் தொழிற்படும் விசைகளின் அளவும், அவை தொழிற்படும் புள்ளிகளும் சமமாகவும் எதிர் எதிராகவும் இருக்கும். ஆனல் ஒரு பக்கம் மட்டும் திரவமுள்ள தளப்பரப்பில் நீர்நிலையியல் விசை அந்தப் பக்கத்தில் மட்டும் தொழிற்படும்.

மாதிரிக் கணக்கு 2·7. 0·3 மீ விட்டமுள்ள ஒரு வட்டத் தளப்பரப்பு அதன் மேல் ஓரம் நீர் மட்டத்திலிருந்து 1 மீ ஆழத்திலும் நீர் மட்டத்திற்கு 60° சாய்ந்திருக்கும்படியும் மூழ்கியிருக்கிறது. அந்தத் தளத்தின் ஒரு புறத்தில் தொழிற்படும் விசையையும், அவ் விசை தொழிற்படும் இடத்தையும் காண்.

அந்தத் தளத்தில் தொழிற்படும் மொத்த விசை

$$= wAh_c = 1000 \times \frac{\pi \times 0{\cdot}3^2}{4}\;(1 + 0{\cdot}15\sin 60°)$$

$$= 79{\cdot}9 \text{ கிகிஎ}$$



அழுத்த மைய ஆழம்

$$h_p = \frac{I_{C.G}\sin^2\theta}{Ah_c} + h_c$$

$$= \frac{\pi \times 0{\cdot}3^4}{64} \times \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 \times \frac{4}{\pi \times 0{\cdot}3^2 \times 1{\cdot}13} + 1{\cdot}13$$

$$= 0{\cdot}0037 + 1{\cdot}13$$

$$= 1{\cdot}1337 \text{ மீ.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 2·8. ஒரு செங்குத்தான நீண்ட சதுரக் கதவு இரண்டு கீல்களால்(hinge)இணைக்கப்பட்டு ஒரு கவ்வியால் (clamp) மூடப்பட்டிருக்கிறது. அந்தக் கதவிற்கு மேல் 5 மீ ஆழத்திற்கு படத்திலுள்ளபடி நீர் இருக்குமானல், கவ்வி, கீல்களில் உண்டாகும் விசைகளின் மதிப்பென்ன ?

$A = 2{\cdot}5 \times 4 = 10$ மீ²

$h_c = (5+2) = 7$ மீ

அந்தக் கதவில் தொழிற்படும் மொத்த விசை $= wAh_c$

$= 1000 \times 10 \times 7 = 70000$ கிகிஎ

இந்த விசையில் பாதி கீல்களிலும், மற்ற பாதி கவ்வியிலும் தொழிற்படும்.

கவ்வியில் விசை $= 35000$ கிகிஎ

நீர்மட்டத்திலிருந்து அழுத்த மைய ஆழம் $h_p = \frac{I_{C.G}}{Ah_c} + h_c$

$$= \frac{2{\cdot}5 \times 4^3}{12 \times 10 \times 7} + 7 = 7{\cdot}19 \text{ மீ}$$

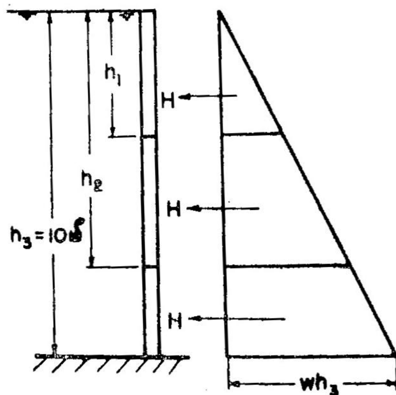
A என்ற கீலில் விசையைக் கணக்கிட, *B*-ல் திருப்புதிறனை எடுத்தால்,

$$F_A \times 3 = 70000\,(8{\cdot}5 - 7{\cdot}19) - 35000 \times 1{\cdot}5$$

$$F_A = 13067 \text{ கிகிஎ}$$

$$F_B = (35000 - 13067) = 21933 \text{ கிகிஎ.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 2·9. 3 மீ அகலமுள்ள ஒரு கப்பற் துறைக் கதவு (dock gate) மூன்று கிடை எஃகுப் பட்டைகளால் (beams) உறுதிப்படுத்தப்பட்டுள்ளது. நீரானது கதவின் ஒரு பக்கம் மட்டும் இருக்கிறது. கதவின் உயரமான 10 மீ வரை நீர் இருக்குமானால். அந்தப் பட்டைகளில் ஒரே அளவு விசை தொழிற்பட அவைகள் எந்த எந்த ஆழத்தில் நீரின் மட்டத்திலிருந்து இருக்கவேண்டும்? ஒரு பட்டையில் தொழிற்படும் விசையின் மதிப்பு என்ன?



ஒவ்வொரு பகுதியிலும் தொழிற்படும் நீர்நிலையியல் விசை சமமாக இருக்கும்படி அந்தக் கதவு மூன்று பாகங்களாகப் பிரிக்கப்படவேண்டும். இந்தப் பகுதிகளில் உள்ள விசை செயற்படும் புள்ளியில் கிடையாகப் பட்டைகள் பொறுத்தப்படவேண்டும்.

இந்த ஒவ்வொரு பகுதியின் ஆழமும் நீர்மட்டத்திலிருந்து h_1, h_1 முதல் h_2, h_2 முதல் 10 மீ ஆக இருக்கட்டும். இப்போது ஒவ்வொரு பகுதியிலும் தொழிற்படும் விசை மொத்த விசையில் மூன்றில் ஒரு பங்காகும். ஒரு அலகு அகலத்தை எடுத்துக் கொண்டால்,

$$\tfrac{1}{2}wh_1^2 = \tfrac{1}{2}w(h_2^2 - h_1^2) = \tfrac{1}{2}w(10^2 - h_2^2) = \tfrac{1}{2}w \times 10^2 \times \tfrac{1}{3}$$

எனவே,

$$h_1 = 5{\cdot}76 \text{ மீ}, \quad h_2 = 8{\cdot}15 \text{ மீ}$$

மேல்பாகத்திலுள்ள பகுதியில் அழுத்த மையம் $= \frac{2}{3} \times 5{\cdot}76$
(நீர்மட்டத்திலிருந்து)

$= 3{\cdot}84$ மீ

அதற்கு அடுத்த பாகத்திற்கு நீர்மட்டத்திலிருந்து அழுத்த மையம்,

$$\tfrac{1}{2}w(h_2^2 - h_1^2)\, X = \tfrac{1}{2}wh_2^2 \times \tfrac{2}{3}h_2 - \tfrac{1}{2}wh_1^2 \times \tfrac{2}{3}h_1$$

$$X = \frac{2}{3}\,\frac{h_2^3 - h_1^3}{h_2^2 - h_1^2} = \frac{2}{3}\,\frac{8{\cdot}15^3 - 5{\cdot}76^3}{8{\cdot}15^2 - 5{\cdot}76^2} = 7{\cdot}04 \text{ மீ}$$

இதேபோல் அடிப்பகுதிக்கு அழுத்தமையம் நீர்மட்டத்திலிருந்து,

$$\frac{2}{3}\cdot\frac{10^3 - 8{\cdot}15^3}{10^2 - 8{\cdot}15^2} = 9{\cdot}12 \text{ மீ}$$

ஒவ்வொரு பகுதியிலுமுள்ள விசை $= b \times \frac{1}{2}wh_1^2$

$= 3 \times \frac{1}{2} \times 1000 \times 5{\cdot}76^2$

$= 49800$ கிகிஎ

SI அலகில்

ஒவ்வொரு பகுதியிலுமுள்ள விசை $= 3 \times \frac{1}{2} \times 9{\cdot}81 \times 5{\cdot}76^2$

$= 488$ கிநி.

மாதிரிக் கணக்கு 2·10. படத்திலுள்ள அணையில் தொழிற்படும் தொகுபயன் விசையின் மதிப்பையும் அது தொழிற்படும் திசையையும் காண். அணையின் அடித்தளத்தில் ஏற்படும் சிறும, பெருமத் தகைவுகள் என்ன ?

ஒரு மீட்டர் அகலமுள்ள அணைப் பகுதியை எடுத்துக் கொள்வோம்.

நீர் விசையின் கிடைக்கூறு

$=wAh_c$

$=1000\times 28\times 1\times \frac{28}{2}$

$=392000$ கிகி

நீர் விசையின் செங்குத்துக் கூறு

$=(0{\cdot}5\times 8+\frac{1}{2}\times 0{\cdot}5\times 20)\times 1\times 1000$

$=9000$ கிகி

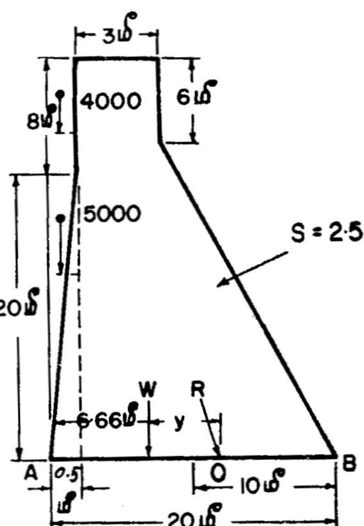
அணையின் ஒப்பு அடர்த்தி 2·5 எனக் கொள்ளவும்.

அணையின் எடை $=$

$2500\times 1\ (\frac{1}{2}\times 0{\cdot}5\times 20+3\times 28+\frac{1}{2}\times 16{\cdot}5\times 22)$

$=12500+210000+453750$

$=676250$ கிகி $=676{\cdot}25$ டன்



அணையின் எடையான W, A-யிலிருந்து x மீட்டர் தூரத்தில் செயற் படட்டும். பிறகு

$$676250\ x=12500\times \tfrac{2}{6}+210000\times 2+453750\times 9$$

$$x=6{\cdot}66 \text{ மீ}$$

தொகுபயன், அடித்தளத்தை சந்திக்கும் O என்ற புள்ளியில் திருப்புதிறனை எடுத்தால்,

$$676250y+4000\ (6{\cdot}41+y)+5000\ (6{\cdot}5+y)=392000\times \frac{28}{3}$$

ஆகவே, $y=5{\cdot}24$ மீ

$$\text{அழுத்தச் செறிவு}=\frac{W}{A}\left(1\pm \frac{6e}{b}\right)=\frac{676250}{20\times 1}\left(1\pm \frac{6\times 1{\cdot}90}{20}\right)$$

$=53100$ கிகி/மீ, 14500 கிகி/மீ^{2}

SI அலகில்

நீர் அழுத்தத்தின் கிடைக்கூறு $=9{\cdot}81\times 28\times 1\times \frac{28}{2}=3840$ கிநி

நீர் விசையின் செங்குத்துக் கூறு $=(0{\cdot}5\times 8+\frac{1}{2}\times 0{\cdot}5\times 20)\ 1\times 9{\cdot}81$

$=88{\cdot}3$ கிநி

அணையின் எடை

$=9{\cdot}81\times 2{\cdot}5\ (\frac{1}{2}\times 0{\cdot}5\times 20+3\times 28\times \frac{1}{2}+\frac{1}{2}\times 16{\cdot}5\times 22)$

$=6640$ கிநி

AB என்ற அடித்தளத்தில் A-யிலிருந்து x தூரத்தில் அணையின் எடை தொழிற்பட்டால்,

$$6640x = 122{\cdot}5 \times \tfrac{2}{6} + 2060 \times 2 + 4457{\cdot}5 \times 9$$
$$x = 6{\cdot}66 \text{ மீ}$$

O என்ற புள்ளியில் திருப்புதிறனை எடுத்தால்,

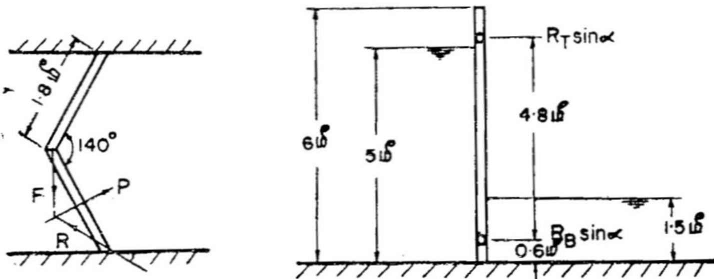
$$6640y + 39{\cdot}2(6{\cdot}41 + y) + 49(6{\cdot}5 + y) = 3840 \times \tfrac{28}{8}$$
$$\therefore\ y = 5{\cdot}24 \text{ மீ}$$

நடுவிலிருந்து விலகிய தூரம் $e = (6{\cdot}66 + 5{\cdot}24) - 10 = 1{\cdot}9$ மீ

அழுத்தச் செறிவு $= \dfrac{6640}{20 \times 1}\left(1 \pm \dfrac{6 \times 1{\cdot}9}{20}\right)$

$= 520$ கிறி/மீ², 142 கிறி/மீ².

மாதிரிக் கணக்கு 2·11. ஒரு பூட்டணைக் கதவிலுள்ள (lock gate) ஒவ்வொரு கதவும் 6 மீ உயரம், 1·8 மீ அகலம் உள்ளது. அக்கதவு 0·6 மீ தூரத்தில் மேலிருந்தும் கீழிருந்தும் கீல்களால் தாங்கப்படுகிறது. இரண்டு கதவுகளுக்குமிடையேயுள்ள கோணம் படத்திலுள்ளபடி 140°. அதன் இரு பக்கங்களிலுமுள்ள நீரின் ஆழங்கள் முறையே 5 மீ, 1·5 மீ ஆக இருக்குமானால், ஒவ்வொரு கதவிலும் தொழிற்படும் விசையின் மதிப்பையும், அதன் திசையையும் காண். அதன் கீல்களில் உள்ள எதிர்வினையையும் (reaction) காண். தொழிற்படும் எல்லா விசைகளும் கிடையாக இருப்பதாகக் கொள்ளவும்.



இடது பக்கத்தில் நீரின் விசை $P_1 = wAh_c$

$= 1000 \times 5 \times 1{\cdot}8 \times \tfrac{5}{2}$

$= 22500$ கிகி

P_1 ஆனது அடித்தளத்திலிருந்து $\tfrac{5}{3} = 1{\cdot}67$ மீ உயரத்தில் செயற்படுகிறது.

வலது பக்கத்தில் நீரின் விசை $P_2 = 1000 \times 1{\cdot}5 \times 1{\cdot}8 \times \dfrac{1{\cdot}5}{2}$

$= 2025$ கிகி

P_2 ஆனது அடித்தளத்திலிருந்து $\frac{1\cdot5}{3}=0\cdot5$ மீ உயரத்தில் செயற்படுகிறது.

விசைகளின் தொகுபயன் $=(22500-2025)$
$=20475$ கிகிள

இந்தத் தொகுபயன் அடித்தளத்திலிருந்து x உயரத்தில் தொழிற்பட்டால்,

$$20475x=22500\times1\cdot67-2025\times0\cdot5$$

$$\therefore\ x=1\cdot785 \text{ மீ}$$

விசைகளைக் கதவிற்கு இணையாகப் பிரித்தால்,

$$F\cos 20^\circ=R\cos 20^\circ$$
$$\therefore\quad F=R$$

விசைகளைக் கதவிற்கு நேர்குத்தாகப் பிரித்தால்,

$$P\ =R\sin 20^\circ+F\sin 20^\circ=2R\sin 20^\circ$$
$$(\because\ R=F)$$

$$\therefore\ R=\frac{20475}{2\sin 20^\circ}=30000 \text{ கிகிள}$$

மேலேயுள்ள, கீழேயுள்ள கீல்களில் விசை R_T, R -ஆக இருக்கட்டும் $R=R_T+R_B$

கீழேயுள்ள கீலில் திருப்புதிறனை எடுத்தால்,

$$R_T\sin 20^\circ\times4\cdot8=\frac{22500}{2}(1\cdot67-0\cdot6)-\frac{2025}{2}(0\cdot6-0\cdot5)$$

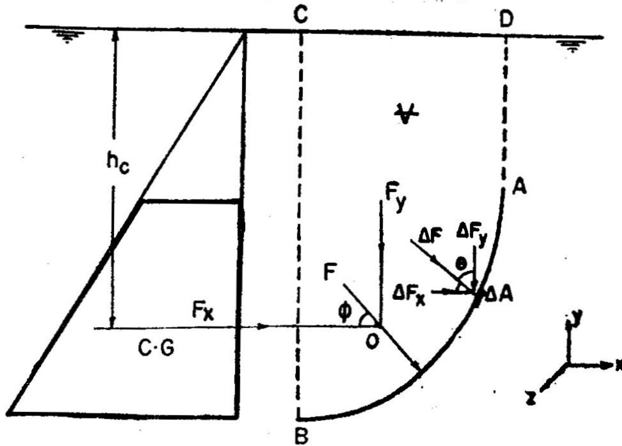
$$\therefore\ R_T=7320 \text{ கிகிள}$$

$$R_B=R-R_T=30000-7320$$
$$=22680 \text{ கிகிள.}$$

2·13. ஒரு வளைந்த பரப்பில் விசைகள் (Forces on Curved Surface)

ஒரு வளைந்த பரப்பில் பல பாகங்களில் தொழிற்படும் நீர் நிலையியல் விசைகள் வெவ்வேறு திசைகளில் இருக்குமாதலால், அந்தத் தளத்தில் தொழிற்படும் மொத்த விசையைக் கணக்கிடுவது கடினமாகிறது. ஒரு சிறு பரப்பில் விசையைக் கணக்கிட்டு அதை மொத்தப் பரப்பிற்கு தொகையிடும் முறையைப் பெரும்பாலான வளைந்த பரப்புகளுக்கு எளிதில் கையாள முடியாது. ஆனால் வளைந்த பரப்பில் குறிப்பிட்ட திசைகளில் தொழிற்படும் விசை

களைக் கணக்கிட்டு, பின்னர் அவைகளை திசையுளி (vector) முறையில் கூட்டி வளைவுப் பரப்பில் தொழிற்படும் மொத்த விசைகளின் கிடை, செங்குத்துக் கூறுகள் தனித்தனியாகக் கண்டுபிடிக்கப் பட்டுத் தொகுபயன் கணிக்கப்படுகிறது.



படம் 2·15. வளைந்த பரப்பில் விசைகள்

படம் 2·15-ல் உள்ள இரு பரிமாண AB என்ற வளைவுப் பரப்பில் தொழிற்படும் மொத்த விசையைக் காண்போம். $\triangle A$ என்ற தனிமப் பரப்பில் (elemental area) தொழிற்படும் $\triangle F$ என்ற விசையை x,y திசைகளில் கூறுகளாகப் பிரித்தால்,

$$\triangle F_x = \triangle F \sin \theta = p \times \triangle A \sin \theta$$

$$\triangle F_y = \triangle F \cos \theta = p \times \triangle A \cos \theta$$

அந்தத் தனிமத்தில் செயற்படும் நேர்குத்து விசையின் மதிப்பு wh ஆகும். இதில் h என்பது திரவ மட்டத்திலிருந்து தனிமத்திற்குள்ள செங்குத்துத் தூரமாகும். ஒரு மூடிய பாத்திரத்தில் அழுத்த திலிருக்கும் பாய்மத்தில் h என்பது குழாய்மானித் தலைப் (piezometric head)பாகும். இப்போது

$$\triangle A \sin \theta = (\triangle A)_y$$

இதில் $(\triangle A)_y$ என்பது y—z என்ற செங்குத்துத் தளத்தில் $\triangle A$ என்ற வளைந்த பரப்பின் எறிதல் (projection) ஆகும். இதே போல் $(\triangle A)$ என்பது x—y என்ற கிடைத்தளத்தில் $\triangle A$ என்ற வளைந்த

பரப்பின் எறிதல் ஆகும். ஆகவே, x, y என்ற திசைகளில் விசைகளின் கூறுகளாவது,

$$F_x = \int dF_x = \int_y wh\, dA \sin\theta = wh_c\, A_v \qquad (2\cdot15\ அ)$$

$$F_y = \int dF_y = \int_x wh\, dA \cos\theta = \int wh\, dA_x$$

$$= wV \qquad (2\cdot15\ ஆ)$$

இதில் h_c என்பது திறந்த வெளித் திரவமட்டம் அல்லது குழாய்மானியில் திரவமட்டம் இவற்றிலிருந்து செங்குத்துத் தளத்தில் எறியப்பட்டுள்ள A_v என்ற பரப்பின் எடைமையத்திற்குள்ள தூரமாகும். V என்பது CBAD என்ற பருமனாகும். ஆகவே, அந்த வளைந்த தளத்தில் தொழிற்படும் மொத்த விசையின் கிடைக்கூறு (horizontal component) படத்தில் காட்டியுள்ளபடி செங்குத்துத் தளத்தில் அந்த வளைந்த பரப்பின் எறிதலில் தொழிற்படும் விசைக்குச் சமமாகும். இந்தக் கிடைக்கூறு, அந்த எறிபரப்பிற்கு (projected area) எடைமையத்தின் வழியாகத் தொழிற்படும்.

செங்குத்துக் கூறு CBAD என்ற பருமனில் உள்ள திரவத்தின் எடைக்குச் சமமாகும். இந்த விசையானது அந்தப் பருமனின் எடைமையத்தின் வழித் தொழிற்படுகிறது. ஆகவே, அந்த வளைந்த பரப்பிற் தொழிற்படும் மொத்த விசையானது,

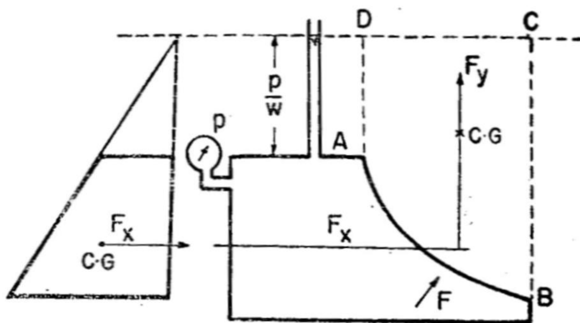
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$\phi = \tan^{-1}\frac{F_y}{F_x}$$

இதே அடிப்படையில் முப்பரிமாண (three dimensional) வடிவமைப்புள்ள வளைந்த பரப்புகளில் தொழிற்படும் நீர்நிலையியற் விசைகளையும் கணக்கிடலாம்.

வளைந்த தளத்தின் அடிப்பாகமானது படம் 2·16ல் உள்ளபடி நீர்நிலையியல் அழுத்தத்திற்கு உட்படுத்தப்பட்டால், செங்குத்துக் கூறானது மேனோக்கித் தொழிற்படும். அதன் மதிப்பு அந்த வளைந்த பரப்பிற்கும் குழாய்மானியிலுள்ள திரவமட்ட உயரத்திற்கும் அல்லது திறந்த திரவமட்ட உயரத்திற்கும் இடையிலுள்ள திரவத்தின் எடைக்குச் சமமாகும். மூடிய பாத்திரத்திலுள்ள AB என்ற

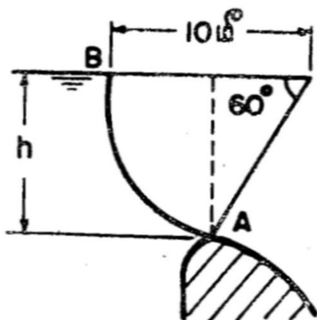
வளைந்த பரப்பு நீர்நிலையியல் அழுத்தத்திற்கு உட்படுத்தப்படுகிறது. AB என்ற வளைவு பரப்பில் தொழிற்படும் விசையின் செங்குத்துக்



படம் 2·16. அழுத்தப் பாத்திரத்தில் வளைந்த தளம்

கூறு ABCD என்ற கற்பனைக் கனஅளவு திரவத்தின் எடைக்குச் சமமாகும். இக் கூறு அக் கனஅளவின் எடைமையத்தின் வழியாக இயங்குகிறது. விசையின் கிடைக்கூறு, செங்குத்துத் தளத்தில் AB-யில் எறிபரப்பில் தொழிற்படும் நீர்நிலையியல் விசைக்குச் சமமாகும். படத்திலுள்ளபடி அழுத்தப் படத்தின் மையத்தின் வழி இக் கூறு தொழிற்படும். ஆகவே, AB என்ற வளைந்த தளத்தில் தொழிற்படும் மொத்த நீர்நிலையியல் விசையானது, இந்த இரண்டு கூறுகளின் திசையுளி கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 2·12. படத்திலுள்ள டெயின்டர் (அல்லது ஆரக்கதவு) கதவில் (Tainter gate) 1 மீ அகலத்தில் தொழிற்படும் நீர்நிலையியல் விசையின் கிடை, செங்குத்துக் கூறுகளைக் கணக்கிடு.



ஒரு மீட்டர் அகலத்தை எடுத்துக் கொள்வோம்.

நீரின் உயரம் $h = 10 \sin 60° = 8{\cdot}68$ மீ

நீர் விசையின் கிடைக் கூறு $= wAh_c$

$$= 1000 \times 1 \times 8{\cdot}68 \times \frac{8{\cdot}68}{2}$$

$$= 37500 \text{ கிகி}$$

நீர்விசையின் செங்குத்துக் கூறு = ABC என்ற பகுதியிலுள்ள நீரின் எடை

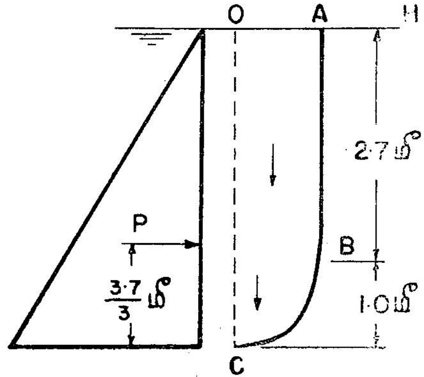
$$= w \times 1 \times (\tfrac{1}{2} r^2 \theta - \tfrac{1}{2} r^2 \sin 60^\circ \cos 60^\circ)$$

$$= 1000 \times 1 \times \left(\frac{1}{2} \times 10^2 \times \frac{60 \times \pi}{180} - \frac{1}{2} \times 10^2 \times 0{\cdot}868 \times 0{\cdot}5 \right)$$

$$= 30700 \text{ கிகிஎ.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 2·13. படத்திலுள்ள தொட்டியில் AB என்ற பாகம் செங்குத்தாகவும் BC என்ற பாகம் ஒரு வட்டத்தின் காற்பாகமாகவும் இருக்கிறது. இந்தத் தொட்டியில் முழு உயரத்திற்கும் நீர் நிரம்பியிருக்கும் போது, C என்ற கீல் அமைப்பால் இணைக்கப்பட்டிருப்பதாகக் கொண்டு, அந்த ABC என்ற பாகம் நிலையானதாக இருக்க, A என்ற புள்ளியில் தொழிற்பட வேண்டிய விசையின் மதிப்பு என்ன ?

ஒரு அலகு நீளமுள்ள தொட்டியை எடுத்துக் கொள்வோம்.



MKS அலகில்

நீர் விசையின் கிடைக் கூறு

$$= wAh_c$$

$$= 1000 \times 3{\cdot}7 \times 1 \times \frac{3{\cdot}7}{2}$$

$$= 6840 \text{ கிகிஎ}$$

இவ் விசை அடித்தளத்திலிருந்து $\frac{3{\cdot}7}{3}$ மீ உயரத்தில் தொழிற்படுகிறது.

நீர் விசையின் செங்குத்துக் கூறு = OCBA என்ற பகுதியிலுள்ள நீரின் எடை

$= 1000 \times 2{\cdot}7 \times 1 \times 1$ O-விலிருந்து 0·5 மீட்டரில் செயல்படுகிறது

$+ \; 1000 \times \frac{\pi \times 1^2 \times 1}{4}$ O-விலிருந்து $\frac{4 \times 1}{3\pi}$ தூரத்தில் செயல்படுகிறது

A-ல் தொழிற்படும் கிடை விசையின் மதிப்பு H-ஆக இருக்கட்டும். பின்னர்,

$$H \times 3{\cdot}7 = 6840 \times \frac{3{\cdot}7}{3} \times 2700 \times \frac{1}{2} + 785 \times \frac{4}{3\pi}$$

$$H = 2735 \text{ கிகிஎ}$$

SI அலகில்

நீர் விசையின் கிடைக் கூறு $= 9{\cdot}81 \times 3{\cdot}7 \times 1 \times \frac{3{\cdot}7}{2} = 67{\cdot}2$ கிநி

நீர் விசையின் செங்குத்துக் கூறு $= 9{\cdot}81 \times 27 \times 1 \times 1 +$

$$9{\cdot}81 \times \frac{\pi \times 1^2 \times 1}{4}$$

O என்ற கீலில் திருப்புதிறன் எடுத்தால்,

$$H \times 3{\cdot}7 = 67{\cdot}2 \times \frac{3{\cdot}7}{3} + 26{\cdot}5 \times \frac{1}{2} + 7{\cdot}7 \times \frac{4}{3\pi}$$

$$H = 27 \text{ கிநி}$$

மாதிரிக் கணக்கு 2·14. ஒரு கோளமானது (sphere) W எடையுடைய நீரால் முழுவதும் நிரப்படுகிறது. அதன் மையத்தின் வழியாகச் செல்லும் ஒரு செங்குத்துத் தளத்தால் அக்கோளம் சரிபாதியாகப் பிரிக்கப்படுமானால் அதன் பாதியில் தொழிற்படும் நீர்நிலையியல் விசையின் மதிப்பு $W\sqrt{\frac{13}{16}}$ என நிரூபிக்க. அந்த வெட்டுத்தளமானது கோளத்தைப் பாதியாகக் கிடைநிலையில் வெட்டுமானால், ஒரு பாதியில் தொழிற்படும் விசை மற்ற்றோர் பாதியில் தொழிற்படும் விசையைவிட 5 மடங்கு பெரிதென நிரூபி.

ஒரு பாதியிலுள்ள நீரின் எடை $= \frac{W}{2}$

செங்குத்து வெட்டுத்தளத்தில் தொழிற்படும் விசை $= wAh_c$

$$= w \times \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{d}{2} = w\frac{\pi d^3}{8}$$

$$= \tfrac{3}{4}W \left(\because W = \frac{\pi d^3}{6} w \right)$$

எனவே, தொகுபயன் விசை $= \sqrt{\left(\frac{W}{2}\right)^2 + \left(\frac{3}{4}W\right)^2}$

$$= \frac{\sqrt{13}}{4} W$$

வெட்டுத்தளம் கோளத்தைக் கிடையாக வெட்டினல், மேற் பாதியிலுள்ள அழுத்தத்தின் தொகுபயன் = மேற்பாதியிலுள்ள நீரின் எடை — வளைந்த பரப்பிலுள்ள அழுத்தம்

$$= \frac{\pi d^3}{12} w - \left(\frac{\pi d^2}{4} \times \frac{d}{2} \times w - \frac{\pi d^3}{12} \times w \right)$$

$$= \frac{\pi d^3}{24} w$$

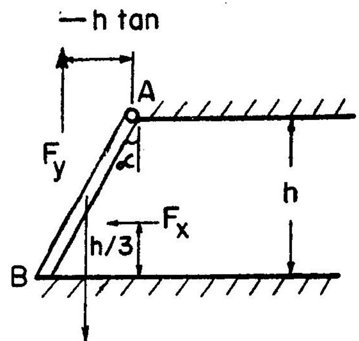
கீழ்ப்பாதியிலுள்ள கோளத்தின் அழுத்தத் தொகுபயன் = கீழ்ப்பாதியிலுள்ள நீரின் எடை + $\frac{d}{2}$ உயரமுள்ள உருளை வடிவமுள்ள நீரின் எடை

$$= \frac{\pi d^3}{12} w + \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{d}{2} \times w$$

$$= \frac{5\pi d^3}{24} w$$

எனவே, கீழ்ப்பாதியில் மேற்பாதியைவிட 5 மடங்கு விசை தொழிற் படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 2·15. ஒரு நீண்ட சதுர வடிவமுள்ள நீர் கடத்தப் பயன்படும் சுரங்கப் பாதையில் (tunnel) செங்குத்திலிருந்து α கோண சாய்வுள்ள கனத்த உலோகக் கதவு படத்திலுள்ளபடி பாதையை மூடப் பயன்படுத்தபடுகிறது. அந்தச் சுரங்கப் பாதையில் நீரானது கூரை மட்டத்திற்கு வந்ததும் கதவு தானகத் திறக்க வேண்டுமானல், அந்தக் கதவின் எடை சதுர மீட்டருக்கு $\frac{1}{3}wh \operatorname{cosec} \alpha$ ஆக இருக்க வேண்டுமென நிரூபி.



ஒரு அலகு அகலத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். ஒரு சதுர மீட்டர் கதவின் எடை W-ஆக இருக்கட்டும்.

நீர் விசையின் கிடைக் கூறு $= wAh_c$

$$= w \times h \times 1 \times \frac{h}{2} = \frac{wh^2}{2}$$

இவ் விசை A என்ற கீலிலிருந்து $\frac{2}{3}h$ தூரத்தில் செயல்படுகிறது.

நீர் அழுத்தத்தின் செங்குத்துக் கூறு $= w \times \frac{1}{2}h \tan\alpha \times 1 \times h$

$$= \frac{wh^2}{2} \tan\alpha$$

இவ் விசை A என்ற கீலிலிருந்து $\frac{2}{3}h \tan\alpha$ தூரத்தில் மேல் நோக்கிச் செயற்படுகிறது.

கீலில் திருப்புதிறன் எடுத்தால்,

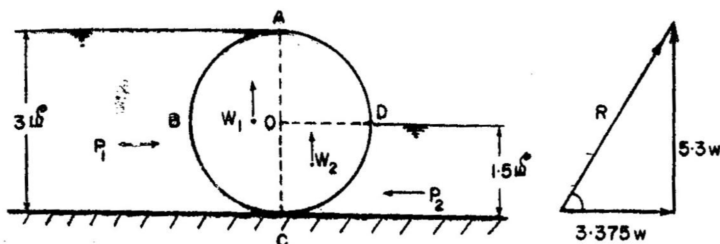
$$W \times h \sec\alpha \times \frac{h}{2} \tan\alpha = \left(\frac{wh^2}{2} \times \frac{2}{3}h\right) + \tfrac{1}{2}wh^2 \tan\alpha \times \tfrac{2}{3}h \tan\alpha$$

$$W \sec\alpha \times \tan\alpha = \tfrac{1}{3}wh\,(1 + \tan^2\alpha)$$

$$\therefore\ W = \tfrac{1}{3}wh \operatorname{cosec}\alpha$$

மாதிரிக் கணக்கு 2·16. 3 மீ விட்டம், 2 மீ நீளமுள்ள ஒரு எஃகு உருளை 2 மீ அகலமுள்ள கால்வாயில் நேர்குறுக்கே இருக்கிறது. அந்த உருளையின் இரு பக்கங்களிலுமுள்ள நீரின் ஆழங்கள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. நீரால் அந்த உருளையில் ஏற்படும் விசையின் அளவு, அது செயற்படும் இடம் இவற்றைக் காண்.

ஒரு அலகு நீளத்தில் தொழிற்படும் விசைகளைப் பற்றிப் பார்ப்போம்.



W_1 = ABCO என்ற பாகத்தை நிரப்பும் நீரின் எடை.

W_2 = CDO என்ற பாகத்தை நிரப்பும் நீரின் எடை.

அந்த உருளையில் ஏற்படும் தூக்கு விசை, அந்த உருளையின் $\frac{3}{4}$ கன அளவிற்கான நீரின் எடைக்குச் சமமாகும்.

$$W = W_1 + W_2 = \frac{3}{4}\,\frac{\pi d^2}{4}\,w = \frac{3}{4} \times \frac{\pi \times 9}{4}\,w = 5{\cdot}3w$$

இதில் w என்பது நீரின் அலகு பருமனெடையாகும். கிடை விசைகளாவன

$$P_1 = \tfrac{1}{2}w \times 3^2 = 4{\cdot}5w$$

$$P_2 = \tfrac{1}{2}w \times 1{\cdot}5^2 = 1{\cdot}125w$$

எனவே, நிகரக் கிடை விசை $= P_1 - P_2 = 3{\cdot}375w$

ஆகவே, உருளையில் தொழிற்படும் தொகுபயன் விசை,

$$R = w\sqrt{5{\cdot}3^2 + 3{\cdot}375^2}$$

$$= 6{\cdot}26\, w$$

மேலும் $\tan\theta = \dfrac{5{\cdot}3}{3{\cdot}375}$

$$\therefore\ \theta = 57^\circ$$

அந்த உருளையில் தொழிற்படும் மொத்த விசை $= 2R$

$$= 12{\cdot}52w$$

இந்த விசை O-வின் வழியாகச் செல்லும்.

(நீரின் அழுத்தம் உருளையின் எல்லா இடங்களிலும் ஆரத்திசையிலுள்ளதால் தொகுபயன் அல்லது விளைவு விசையும் ஆரத்திசையிலிருக்கும். ஆதலால், அது O-வழியாகச் செல்லும்.)

2·14. இயக்கப் பாய்மங்களின் சமநிலை (Equilibrium of Fluids in Motion)

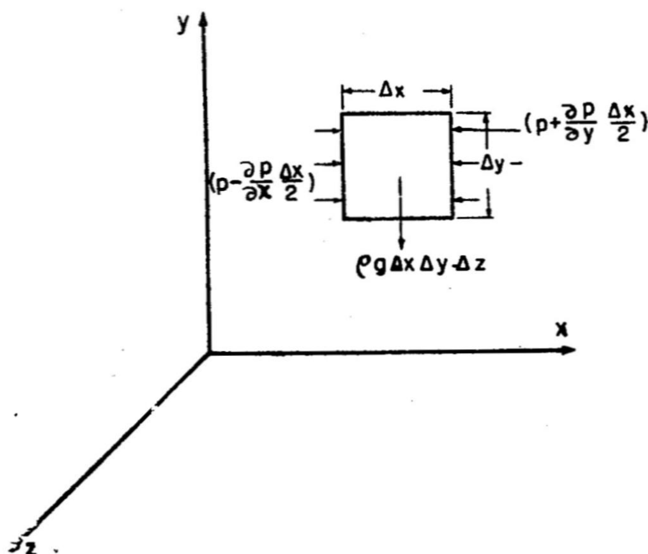
ஒரு தொட்டியில் அல்லது ஒரு எல்லைக்குள் உள்ள பாய்மமானது சீரான திசைவேகம் அல்லது சீரான முடுக்கம் உடைத்தாக இருக்குமானால், அந்தப் பாய்மத்திலுள்ள துகள்களிடையே ஒப்புச் சலனம் இல்லாததால், அப் பாய்மத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு ஏற்படுவதில்லை. பாய்மத்திற்கும் எல்லைக்குமிடையேயும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு ஏற்படுவதில்லை. இப்படிப்பட்ட நிலையையுடைய இயக்கத்தின் பாய்மமானது ஒப்புச் சமநிலையில் (relative equilibrium) இருக்கிறது எனச் சொல்லப்படுகிறது. ஒரு பொருளானது (body) முடுக்கப்பட்டால், நீர்நிலையியல் விசைக்குப் புறம்பாக, அதிகப்படியான விசைக்குட்படுத்தப்படுகிறது. ஒரு சீரான முடுக்கத்தையுடைய தொட்டியிலுள்ள பாய்மத்திலேற்படும் அழுத்தப் பகிர்வு (pressure distribution) பற்றி இப்போது ஆராய்வோம்.

திரவமுடைய ஒரு பாத்திரம் சீரான முடுக்கம் அல்லது எதிர் முடுக்கம் உடைத்தாயிருக்கும்போது ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடு பற்றி இந்தப் பகுதியில் பார்ப்போம். ஒரு பாத்திரம் அதன் செங்குத்து அச்சில் சீராகச் சுழலும்போது ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடு பற்றி அத்தியாயம் 4-ல் படிக்கலாம்.

2·15. சீரான நேர்கோட்டு முடுக்கம் (Uniform Linear Acceleration)

$\triangle x$, $\triangle y$, $\triangle z$ என்ற பக்க அளவுகளையுடைய சிறிய தனிமத்தில் (element) x, y, z என்ற திசைகளில் a_x, a_y, a_z என்ற சீரான

முடுக்கம் ஏற்படுவதாக எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் அடர்த்தி ρ ஆகவும், அத்தனிமத்தின் மத்தியில் அழுத்தம் p ஆகவும்



படம் 2·17. தனிமத்தில் சீரான நேர்கோட்டு முடுக்கம்

இருக்கட்டும். அந்தத் தனிமம் சீரான நிலைமையை அடைந்த பிறகு எவ்வகையான சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவிற்கும் உள்ளாகாது. அந்தத் தனிமத்தில் x-திசையில் தொழிற்படும் விசைகளும் அதன் எடையும் படம் 2·17-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

$$\left(p-\frac{\partial p}{\partial x}\frac{\Delta x}{2}\right)\Delta y\ \Delta z-\left(p+\frac{\partial p}{\partial x}\frac{\Delta x}{2}\right)\Delta y\ \Delta z=\rho a_x\ \Delta x\ \Delta y\ \Delta z$$

இதில் a_x என்பது முடுக்கத்தின் x கூறாகும்.

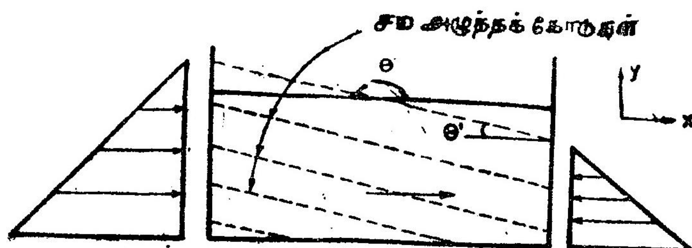
$$-\frac{\partial p}{\partial x}=\rho a_x \qquad (2·16அ)$$

இதே போல் y-திசையில் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடைக் காண, அதன் எடையையும் எடுத்துக் கொண்டால்,

$$\left(p-\frac{\partial p}{\partial y}\frac{\Delta y}{2}\right)\Delta z\ \Delta x-\left(p+\frac{\partial p}{\partial y}\frac{\Delta y}{2}\right)\Delta z\ \Delta x-\rho g\ \Delta x\ \Delta y\ \Delta z$$
$$=\rho a_y\ \Delta x\ \Delta y\ \Delta z$$

ஆகவே, $$-\frac{\partial p}{\partial y}=\rho(g+a_y) \qquad (2{\cdot}16ஆ)$$

z-திசையில் $$-\frac{\partial p}{\partial z}=\rho a_z \qquad (2{\cdot}16இ)$$



படம் 2·18. கிடைமுடுக்கமுள்ள பாத்திரம்

படம் 2·18-ல் உள்ள பாத்திரமானது x-திசையில் சீரான முடுக்கத்தையுடையதாக இருக்கிறது. அதற்கு y-திசையில் முடுக்கம் இல்லையாதலால்

$$\frac{dp}{dy}=-\rho g$$

ஆகவே, y-திசையில் அழுத்தமானது நீர்நிலையியற் தன்மையுடையது. நாம் y-யின் மதிப்பு மேல் நோக்கி அதிகரிக்கிறது எனக் கொண்டிருக்கிறோமாதலால், அந்தச் சமன்பாட்டிலுள்ள எதிர்குறி அழுத்தமானது கீழ்நோக்கி அதிகரிக்கிறது என்பதைக் குறிக்கிறது.

x-திசையில் ஏற்படும் சீரான முடுக்கத்தால் திரவத்தின் மேற்பரப்பு படத்திலுள்ளபடி சரிவுடையதாக இருக்கும். மேற்பரப்பில் அழுத்த வேறுபாடில்லை. (அ—து) $dp=0$

$$dp=\frac{\partial p}{\partial x}dx+\frac{\partial p}{\partial y}dy=0$$

எனவே,

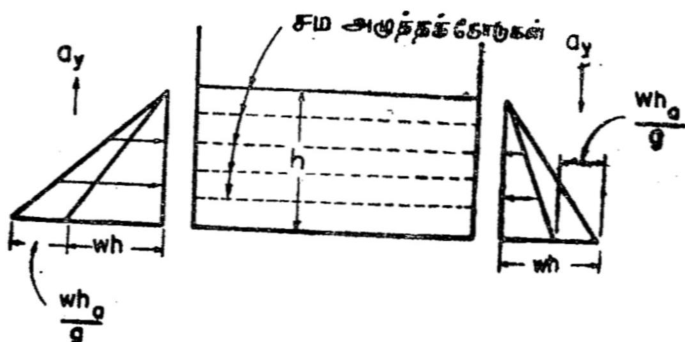
$$\frac{dy}{dx}=-\frac{\frac{\partial p}{\partial x}}{\frac{\partial p}{\partial y}}=-\frac{\rho a_x}{\rho g}=-\frac{a_x}{g}=\tan\theta$$

மேலும்

$$\tan\theta'=+\frac{a_x}{g}$$

ஆகவே, ஒரு குறிப்பிட்ட முடுக்கத்திற்கு $\frac{dy}{dx}$-ன் மதிப்பு மாறிலியாகும். எனவே, சம அழுத்தமுள்ள கோடுகள் ஒரே சரிவுள்ளனவாக ஒன்றுக் கொன்று இணையாகப் படத்திலுள்ளபடி இருக்கும். அந்தப் பாத்திரத்தில் நீர்நிலையியற் தன்மை உடைத்தாயிருக்கும்.

திரவம் முழுவதுமுள்ள மூடிய பாத்திரம் சீரான முடுக்கத்திற்குட்பட்டால், அதிலுண்டாகும் அழுத்த வேறுபாட்டை சமன்பாடு 2·16 மூலம் கணக்கிடலாம். ஏதாவது ஒரு புள்ளியில் அழுத்தத்தின் தனிமதிப்புத் தெரியுமானல், அந்தப் பாத்திரத்தில் எந்தப் பகுதியிலும் அழுத்தத்தைக் கண்டறியலாம்.



படம் 2·19. செங்குத்து முடுக்கமுள்ள பாத்திரத்தில் அழுத்தம்

இனி ஒரு பாத்திரமானது செங்குத்துத் திசையில் மேல் நோக்கியோ அல்லது கீழ் நோக்கியோ சீரான முடுக்கத்திற்குட்படுத்தப்படுவதால் ஏற்படும் அழுத்த மாற்றத்தைக் கணக்கிடுவோம். y-திசையில் ஏற்படும் முடுக்கத்தாலுண்டாகும் அழுத்தப் பகிர்வை கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் அறியலாம்.

$$\frac{\partial p}{\partial y} = -\rho(g + a_y)$$

இதில் முடுக்கமானது மேல்நோக்கி இருக்குமானல், a_y-யின் மதிப்பு நேராகவும், கீழ்நோக்கி இருக்குமானல் a_y-யின் மதிப்பு எதிராகவும் இருக்கும். h ஆழம் திரவமுள்ள பாத்திரத்தில் அழுத்தப் பகிர்வானது

$$\int_h^0 \partial p = \int_h^0 -\rho(g + a_y)dy = -\rho\Big[(g + a_y)y\Big]_h^0$$

$$= \rho\,(g + a_y)\,h = \rho g h\left(1 + \frac{a_y}{g}\right)$$

எனவே,

$$p = wh\left(1+\frac{a_y}{g}\right) \qquad (2\cdot17)$$

முடுக்கமானது y-திசையில் மட்டுமே இருப்பதால் $\frac{dy}{dx}=0$. ஆகவே, சம அழுத்தமுள்ள தளங்கள் கிடைத்தளத்திற்கு இணையாக இருக்கும். பாத்திரத்தின் பக்கங்களில் மேல்நோக்கி அல்லது கீழ்நோக்கி முடுக்கம் இருப்பதால் ஏற்படும் அழுத்தப் பகிர்வு படம் 2·19-ல் இடது, வலது பக்கங்களில் முறையே காட்டப்பட்டுள்ளன. ஒரு பாத்திரமானது x, y-திசைகளில் முறையே a_x, a_y என்ற முடுக்கக்கூறுகளை உடைத்தாயிருக்குமானால், அந்தப் பாத்திரத்தி லுள்ள திரவத்தின் மேல்மட்டச் சரிவு அல்லது சமஅழுத்தமுள்ள தளங்களின் சரிவானது

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{\frac{\partial p}{\partial x}}{\frac{\partial p}{\partial y}} = -\frac{-\rho a_x}{-\rho(a_y+g)} = -\frac{a_x}{(a_y+g)}$$

படம் 2·18-ல்,

$$\tan\theta' = \frac{a_x}{(a_y+g)}$$

மாதிரிக் கணக்கு 2·17. 6 மீ நீளமுள்ள தொட்டி 4 மீ/வி^{2} என்ற முடுக்கத்தில் நீளவாட்டில் சீராகச் செல்கிறது. அதிலுள்ள திரவத்தின் மேல்மட்டச் சரிவைக் கணக்கிடு.

$$a_x = 4 \text{ மீ/வி}^2$$

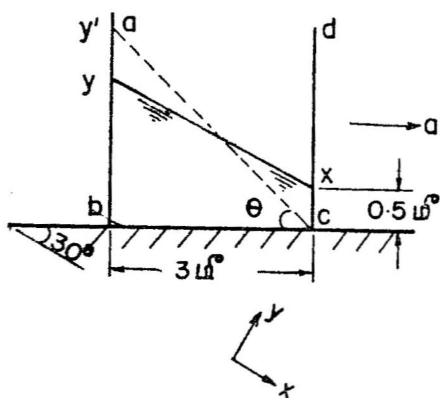
மேல்மட்டத்தின் சரிவு θ ஆக இருக்குமானால்,

$$\tan\theta = \frac{a_x}{g} = \frac{4}{9\cdot81} = 0\cdot408$$

$$\theta = 22\cdot3°.$$

மாதிரிக் கணக்கு 2·18. 3 மீ × 1 மீ அளவுள்ள ஒரு பாத்திரம் ஒரு சாய்வு தளத்தில் படத்திலுள்ளபடி இருக்கிறது. எந்தச் சீரான முடுக்கத்திற்கு அந்தப் பாத்திரத்திலுள்ள திரவத்தின் மேல்மட்டம் C என்ற புள்ளியைத் தொடும் எனக் கணக்கிடு. பாத்திரத்தின் பக்கங்கள் திரவம் சிந்தாத அளவிற்கு உயரமாக இருப்பதாகக் கொள்ளவும்.

பாத்திரம் ஓய்வாக இருக்கும்போது திரவத்தின் மேல்மட்டம் கிடையாக இருக்கும். எனவே,



$by = xc + bc \tan 30°$

$= 0{\cdot}5 + 3 \tan 30°$

$= 2{\cdot}23$ மீ

முடுக்கத்தின்போது திரவத்தின் மேல்மட்டம் cy' என்ற நிலையை அடைகிறது. எனவே, $xc = yy'$

$by' = 2{\cdot}23 + 0{\cdot}5 = 2{\cdot}73$ மீ

இப்போது

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2{\cdot}73}{3} = 42°20'$$

எனவே, கிடைத்தளத்திற்கு cy'ன் சரிவு 12·20′ ஆகும்.

ஆகவே,

$$\tan\ 12°20' = \frac{dy}{dx} = \frac{a_x}{a_y + g}$$

ஆனல்,

$$a_x = a \cos 30° = 0{\cdot}866\ a$$

$$a_y = a \sin 30° = 0{\cdot}5\ a$$

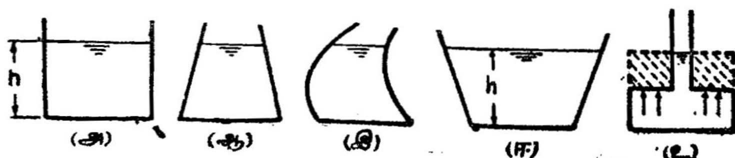
$$\tan 12°20' = 0{\cdot}182$$

$$\therefore\ 0{\cdot}866\ a = 0{\cdot}182\ (0{\cdot}5a + 9{\cdot}81)$$

$$a = 2{\cdot}3 \text{ மீ/வி}^2.$$

2·17. நீர்நிலையியல் முரண் (Hydrostatic Paradox)

குழாய்மானி உயரம் h உள்ள இடத்தில் w அலகு பருமனெடை உள்ள திரவத்தால் ஏற்படும் நீர்நிலையியல் அழுத்தம் wh என்று முன்னரே பார்த்துள்ளோம். A என்ற சமபரப்புள்ள அடித் தளங்களையுடையதும், வெவ்வேறு வடிவங்களையுடையதுமான,

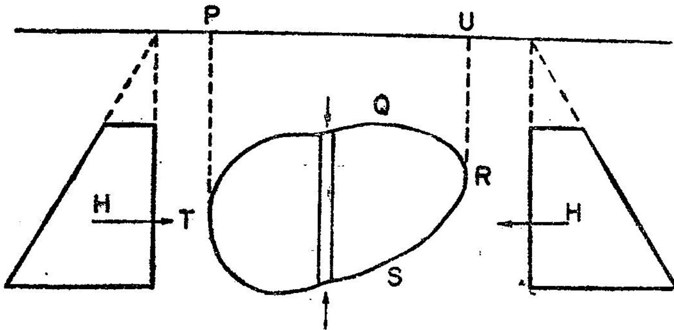


படம் 2·20. நீரியல் முரண்பாடு விளக்கம்

படம் 2·20-ல் உள்ளபடி, w என்ற எடையுள்ள திரவத்தால் நிரப்பப் பட்டுள்ள பாத்திரங்களை எடுத்துக் கொள்வோம். அந்த அடித் தளங்களிலுள்ள நீர்நிலையியல் அழுத்த விசை Awh ஆகும். ஆனால் அந்தப் பாத்திரங்களிலுள்ள திரவங்களின் எடையானது வெவ் வேறாகும். ஆ, இ, உ என்ற பாத்திரங்களிலுள்ள திரவங்களின் எடையானது, பாத்திரத்தின் அடித்தளத்தில் தொழிற்படும் விசையை விடக் குறைவு. இதிலிருந்து வெவ்வேறு மொத்த எடைகளையுடைய திரவங்கள் அவை இருக்கும் பாத்திரங்களின் அடித்தளங்களில் ஒரே அளவு விசையை உண்டாக்குகின்றன எனத் தெரிகிறது. இதற்கு நீர்நிலையியல் முரண் எனப் பெயர்.

2·18. மிதவை (Floatation)

w அலகு பருமனெடையுள்ள முழுவதும் மூழ்கியுள்ள ஒரு திடப் பொருள் படம் 2·21-ல் உள்ளபடி சமநிலையில் (equilibrium)



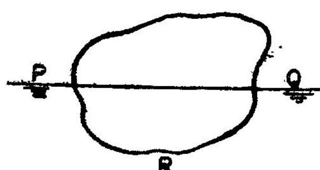
படம் 2·21. முழுவதும் மூழ்குமிதவைப் பொருளில் விசைகள்

இருப்பதாக எடுத்துக்கொள்வோம். இந்தப் பொருளானது அதன் மேல் தொழிற்படும் வெளி விசைகளாலும், அதன் எடையினாலும் சமநிலையில் இருக்கிறது. இந்த விசைகளின் கிடைக்கூறுகள் (horizontal components) செங்குத்துத் தளங்களில் ஏற்படும் எறி பரப்பிலுள்ள (projected area) நீர்நிலையியல் விசைகளுக்குச் (hydrostatic forces)சமமாகும். இந்த விசைகளான H என்பவை சமமாகவும், ஒரே நேர்கோட்டில் எதிர்எதிர் திசைகளில் தொழிற் படுவதால், அவைகள் ஒன்றையொன்று அழித்துப் பொருளை x-திசையில் சமநிலையில் இருக்கச் செய்கின்றன.

TSR என்ற பகுதியில் தொழிற்படும் செங்குத்து விசையானது PTSRU என்ற பகுதியிலுள்ள திரவத்தின் எடைக்குச் சமம். இது மேல்நோக்கிச் செயற்படுகிறது. இதேபோல் TQR என்ற பகுதி யில் தொழிற்படும் செங்குத்து விசை PTQRU என்ற பகுதியிலுள்ள

திரவத்தின் எடைக்குச் சமமாகும். இது கீழ் நோக்கிச் செயற் படுகிறது. எனவே, இந்தப் பொருளில் தொழிற்படும் நிகரச் செங் குத்து விசையானது அந்தப் பொருளின் பருமனுக்குச் சமமான திரவ எடைக்குச் சமமாகும். இந்த விசை அப்பொருளின் எடை மையத்தின் வழியாகச் செங்குத்தாக மேல்நோக்கிச் செயற்படு கிறது. இந்த மேல்நோக்கிச் செயற்படும் விசைக்கு மிதப்பாற்றல் (buoyancy) எனப் பெயர்.

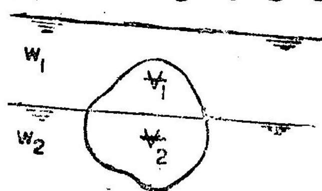
ஒரு பொருளானது படம் 2·22-ல் உள்ளபடி ஒரு பகுதிமட்டும் மூழ்கியிருக்குமானால், மிதப்பாற்றல் விசையானது PRQ என்ற திரவப் பருமனெடைக்குச் சமம் என நிரூபிக்கலாம். மிதப்பாற்றல் விசை F, ஒரு பொருளின் எடை W-க்குச் சமமாக இருக்குமானால், அந்தப் பொருள் திரவத்தின் மேல் மட்டத் திற்குக் கீழ் முழுவதும் மூழ்கி மிதக் கும். W ஆனது F-க்கு அதிகமாக இருக்குமானால், பொருளானது திர வத்தின் அடிமட்டத்தை அடையும். W-ன் மதிப்பு F-க்குக் குறைவாக இருக்குமானால் பொருளானது திரவத்தின் மேல் மட்டத்திற்கு W, F சம மதிப்பு அடையும் வரை உயர்ந்து கொண்டே வரும். அப்படிப்பட்ட பொருளானது படத்திலுள்ள படி பகுதி மூழ்கிய நிலையை அடைகிறது.



படம் 2·22.
பகுதி மூழ்கிய பொருள்

ஆகவே, ஒரு பகுதி மூழ்கிய அல்லது முழுவதும் மூழ்கிய பொருளின் மேல் செயற்படும் மிதப்பாற்றல் விசையானது அந்தப் பொருளால் இடம் பெயர்க்கப்படும் திரவத்தின் எடைக்குச் சமமா கும் என்றும், இந்த மிதப்பாற்றல் விசை அவ்வாறு இடம் பெயர்க் கப்பட்ட பருமனின் எடைமையம் வழியாகத் தொழிற்படும் என் றும் அறிகிறோம். இவ்வுண்மையை ஏறத்தாழ 2000 ஆண்டுகளுக்கு முன் ஆர்க்கிமிடீஸ் என்ற கிரேக்க நாட்டு விஞ்ஞானி கண்டறிந்தார்.

ஒன்றோடொன்று கலக்காத இரண்டு திரவங்களுக் கிடையில் முழுவதும் மூழ்கியுள்ள ஒரு பொரு ளின் மிதப்பாற்றல் மையத்தை (centre of buoyancy) எவ்வாறு கண் டறிவது என்பதைப் பார்ப்போம். இப்படிப்பட்ட ஒரு பொருள் படம் 2·23-ல் காட்டப்பட் டுள்ளது. மிதப்பாற்றல் விசையில் மொத்த மதிப்பு இடம்



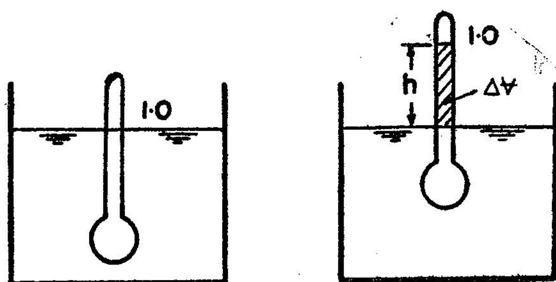
படம் 2·23 இரண்டு திரவங்களின் மூழ்கிய பொருள்

பெயர்க்கப்பட்ட திரவங்களின் எடைகளின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம். ஆகவே,

$$F = w_1 V_1 + w_2 V_2$$

மிதிப்பாற்றல் மையம் இடம் பெயர்க்கப்பட்ட திரவங்களின் எடை மையத்திலிருக்கும். பொருளின் எடை மையமும், மிதப்பாற்றல் மையமும் ஒரே புள்ளியில் இருக்க வேண்டிய அவசியமில்லை. ஆனால் அவைகள் ஒரே செங்குத்துக் கோட்டில் இருக்க வேண்டியது அவசியம்.

மிதப்பாற்றல் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி திரவத்தின் ஒப்பு அடர்த்தியைக் கண்டறியலாம். சுத்தமான நீரிலும், பின்னர் S ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள திரவத்திலும் மிதக்கும் ஒப்பு அடர்த்தி மானியை (hydrometer) எடுத்துக் கொள்வோம். நீரில் மிதக்கும் போது இடம் பெயர்க்கப்பட்ட நீரின் பருமன் V ஆக இருக்கட்டும். இப்போது இடம் பெயர்க்கப்பட்ட நீரின் எடை, ஒப்பு அடர்த்தி மானியின் எடைக்குச் சமம். மானியின் தண்டில் (stem), நீரின் மேல் மட்டத்தில் 1·0 என்று குறித்துக் கொள்ளவும். இது நீரின் ஒப்பு அடர்த்தியான ஒன்றைக் குறிக்கும். பின்னர் அதே மானி S ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள திரவத்தில் மிதக்க விடப்படுகிறது. இப்போது



படம் 2·24. ஒப்பு அடர்த்தி மானி

$$(V - \triangle V)\, S = W$$

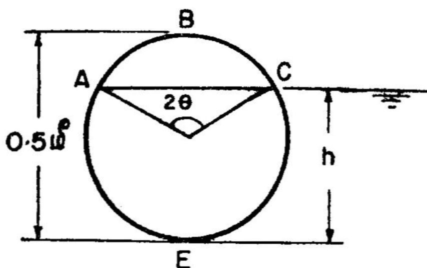
தண்டின் குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பு a ஆனால், படம் 2·24-ல் காட்டியுள்ளபடி $\triangle V = ah$ ஆகும். ஆகவே,

$$h = \frac{V}{a}\left(\frac{S-1}{S}\right) \qquad (2\cdot 18)$$

இவ்வாறு வெவ்வேறு ஒப்பு அடர்த்தியுடைய திரவங்களில் மானி மிதக்கவிடப்பட்டு, அதன் தண்டில் வெவ்வேறு ஒப்பு அடர்த்திகள் குறிக்கப்படுகின்றன.

மாதிரிக் கணக்கு 2·19. 0·5 மீ விட்டம், 5 மீ நீளம் உள்ள வட்ட வடிவமான மர உருளை நீரில் எவ்வளவு மூழ்கி மிதக்கும் எனக் காண். மரத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி 0·65.

$$D=0{\cdot}5 \text{ மீ}; L=5{\cdot}0 \text{ மீ}; w=0{\cdot}65\times1000=650 \text{ கிகி}/\text{மீ}^3$$



உருளைக் கட்டையின் எடை

$$=\frac{\pi\times0{\cdot}5^2}{4}\times5\times650$$

$$=637 \text{ கிகி}$$

மூழ்கிய வெட்டுப்பரப்பு A ஆனல்,

$$A\times5=0{\cdot}637$$

$$\therefore A=0{\cdot}1275 \text{ மீ}^2$$

மர உருளை h ஆழம் மூழ்கி இருக்கட்டும். எனவே,

$$A=\text{பரப்பு } ACE=\pi r^2\left(\frac{2\theta}{360}\right)+\tfrac{1}{2}r\cos\theta\times2r\sin\theta$$

$$0{\cdot}1275=\pi\times0{\cdot}25^2\left(\frac{2\theta}{360}\right)+0{\cdot}25^2\cos\theta\sin\theta$$

தீர்த்தால், $\theta=76°$

$$\therefore h=0{\cdot}25+0{\cdot}25\cos76°$$

$$=0{\cdot}31 \text{ மீ}$$

$$\text{மூழ்கிய பாகத்தின் விகிதம்}=\frac{0{\cdot}31}{0{\cdot}5}=0{\cdot}621.$$

மாதிரிக் கணக்கு 2·20. கடலில் மூழ்கிய கப்பலை வெளியே எடுப்பதற்கு, அதனோடு பெரிய இரும்புப் பீப்பாய்களை இணைத்து பின்னர் அந்தப் பீப்பாய்களில் உள்ள நீரை அமுக்கக் காற்றால் வெளியேற்றுகிறார்கள். அதனால் ஏற்படும் மிதப்பாற்றல் விசையால் கப்பல் மேல் மட்டத்திற்கு உயருகிறது. ஒரு மூழ்கிய கப்பல் 1500 மீ^{3} கடல் நீரை இடம் பெயர்க்கிறது. அந்தக் கப்பலை வெளியில் எடுக்க அதனோடு 2·5 மீ^{3} கன அளவும், 1 டன் எடையும் உள்ள பீப்பாய்கள் எத்தனை வேண்டும்? ஒரு மீட்டர் கன அளவுள்ள அமுக்கக் காற்றின் எடை 1·95 கிகி (19·1 நி) ஆகும்.

MKS அலகில்

கடல் நீரின் ஒப்பு அடர்த்தி	$=1{\cdot}035$
இரும்புப் பீப்பாயின் எடை	$=1000$ கிகி
அமுக்கப்பட்ட காற்றின் எடை	$=2{\cdot}5^3\times1{\cdot}95$
	$=30{\cdot}5$ கிகி

பீப்பாயில் மிதப்பாற்றல் விசை $= 2{\cdot}5^3 \times 1035$
$= 16{,}200$ கிகி

எனவே, ஒரு பீப்பாயில் தொழிற்படும் தூக்கு விசை
$= (16200 - 1030{\cdot}5)$
$= 15169{\cdot}5$ கிகி
$= 15{\cdot}17$ டன்

கப்பலின் எடை $= 1500 \times 1{\cdot}035$ டன். மூழ்கிய கப்பலால் இடம் பெயர்க்கப்பட்ட திரவத்தின் எடையைப் புறக்கணித்து விட்டு,

$$n \times 15{\cdot}17 = 1500 \times 1{\cdot}035$$
$$n = 102{\cdot}2$$

103 பீப்பாய்கள் தேவைப்படும்.

SI அலகில்

பீப்பாயின் எடை $= 9{\cdot}81$ கிநி
அமுக்கக் காற்றின் எடை $= 2{\cdot}5^3 \times 19{\cdot}5 = 306$ நி
$= 0{\cdot}306$ கிநி

ஒரு பீப்பாயில் தொழிற்படும் மிதப்பாற்றல் விசை
$= 2{\cdot}5^3 \times 9{\cdot}81 \times 1{\cdot}035 = 159$ கிநி

ஒரு பீப்பாயில் தொழிற்படும் தூக்கு விசை
$= 159 - (9{\cdot}81 + 0{\cdot}306)$
$= 148{\cdot}884$ கிநி
$\simeq 149$ கிநி

கப்பலின் எடை $= 1500 \times 9{\cdot}81 \times 1{\cdot}035$ கிநி

எனவே,

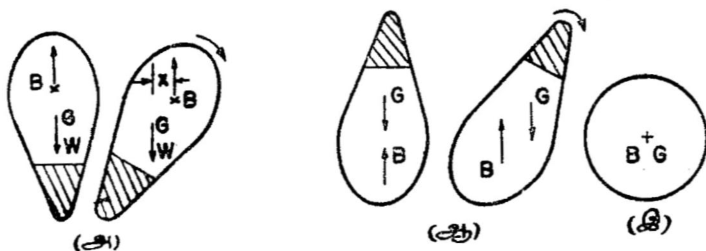
$$n \times 149 = 1500 \times 9{\cdot}81 \times 1{\cdot}035$$
$$n = 102{\cdot}2$$

103 பீப்பாய்கள் தேவைப்படும்

2·19. மூழ்கு மிதவை அல்லது மிதக்கும் பொருள்களின் நிலைப்பாடு (Stability of Submerged or Surface Floating Bodies)

ஒரு மூழ்கிய அல்லது மிதக்கும் பொருளானது சலனத்திற்குட்படுத்தப்பட்ட பிறகு தன் பழைய நிலையைத் திரும்ப அடையுமானல், அந்தப் பொருள் நிலைப்பாடு (stability) உடையது எனக் கருதப்படுகிறது. ஒரு மூழ்கிய பொருளின் நிலைப்பாடு அதன் எடைமையம், மிதப்பாற்றல் மையம் இவற்றின் ஒப்பு அமைப்பைப் (relative position) பொறுத்தது.

ஒரு பொருளானது முழுவதும் மூழ்கி மிதக்கும் போது அதன் மிதப்பாற்றல் மையமும், எடை மையமும் மாருத நிலையிலிருக்கின்றன. இந்த இரண்டு மையங்களும் ஒன்றுக்கொன்று எவ்வாறு

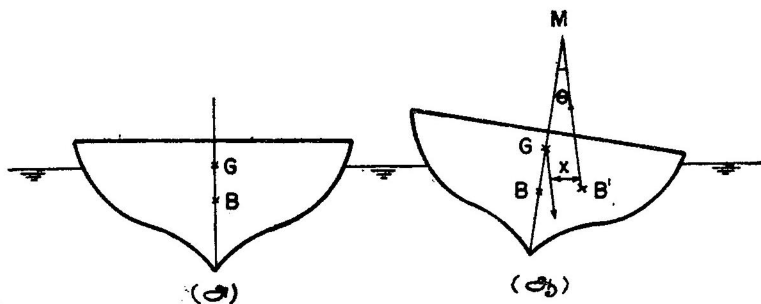


படம் 2·25. மூழ்கிய மிதவைப் பொருள்களின் நிலைப்பாடு

அமைந்திருக்கின்றன என்றும், சிறிது சலனத்தால் அவைகள் எவ்வாறு இடம் மாறுகின்றன என்றும் படம் 2·25-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது. எடைமையம் G-யாலும், மிதப்பாற்றல் மையம் B-யாலும் குறிக்கப்பட்டிருக்கின்றன. முதற்படத்தில் W எடையுடைய முழுவதும் மூழ்கிய பொருளில் B-யானது G-க்கு உயரத்தில் இருக்கிறது. இந்தப் பொருளை வலஞ்சுழியாக (clockwise) சிறிய சலனத்திற்குட்படுத்தினுல், உடனே $w \times x$ என்ற மதிப்புடைய இடஞ்சுழித் திருப்புதிறன் (anticlockwise moment) உண்டாகிப் பொருளை அதன் பழைய நிலைக்குக் கொண்டு வருகிறது. இந்த அமைப்புடைய பொருள் நிலைப்பாடு உடையது. இரண்டாவது படத்தில் ஒரு சிறிய சலனத்தாலும் பொருள் புதிய நிலையை நிரந்தரமாக அடையும் நிலைப்பாடற்ற (unstable) தன்மையுள்ள அமைப்பு காட்டப்பட்டுள்ளது. முதற்கண் G, Bயைவிட உயரத்திலிருக்கிறது. வலஞ்சுழியாக ஒரு சிறிய சலனத்திற்கு இப்பொருள் உட்படுத்தப்பட்டால், புள்ளிகள் B, G-ல் தொழிற்படும் விசைகளால் வலஞ்சுழித் திருப்புதிறன் உண்டாகி, மேலும் அப்பொருளை வலது பக்கமாக B-யானது G-க்குச் செங்குத்தாக கீழே வரும்வரை சுழற்றுகிறது. பின்னர் அப்பொருள் பழைய நிலையை அடைவதில்லை. மூன்ருவது படத்திலுள்ளபடி B-யும், G-யும் ஒரே புள்ளியில் இருக்குமானுல், அந்தப் பொருள் நடுச் சமநிலையில் (neutral equilibrium) இருப்பதாகக் கொள்ளப்படுகிறது.

இப்போது மிதக்கும் பொருள்களின் நிலைப்பாட்டைக் கவனிப்போம். மிதக்கும் பொருளானது சிறிது கோணச் சுழற்சிக்கு உள்ளாகுமானுல், அதனுல் இடம் பெயர்க்கப்பட்ட திரவத்தின் பருமனின் அமைப்பு மாறுகிறது. ஆதலால் மிதப்பாற்றல் மையத்தின் இடமும் மாறுகிறது. மிதக்கும் பொருளில் படம் 2·26-ல்

G-யானது B-க்கு உயரத்திலிருந்தாலும் சிறிய கோணச் சுழற்சியால் அதன் நிலைப்பாடு பாதிக்கப்படாது. படத்திலுள்ள கப்பல்



படம் 2·26. மிதக்கும் பொருளின் நிலைப்பாடு

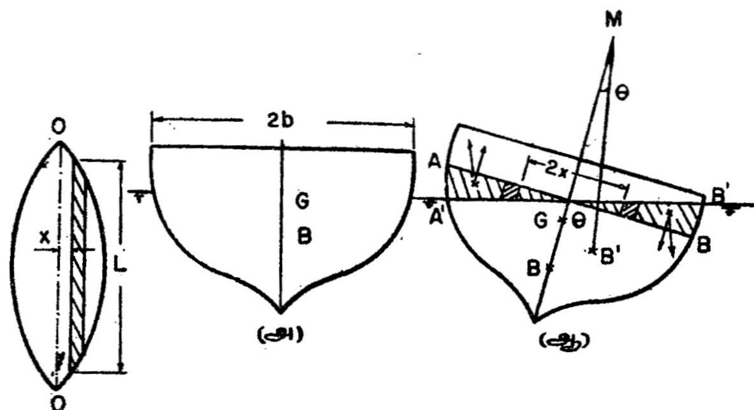
போன்ற அமைப்பை எடுத்துக்கொள்வோம். அதன் W மதிப்புள்ள எடை G-யின் வழியாகச் செங்குத்தாகத் தொழிற்படுகிறது. மிதப் பாற்றல் விசை B-ன் வழியாக மேல்நோக்கித் தொழிற்படுகிறது. மிதப்பாற்றல் விசை W-க்குச் சமமாகவும், எதிராகவும் ஒரே நேர் கோட்டில் தொழிற்படுவதால் கப்பலானது சமநிலையில் (equilibrium) இருக்கிறது. θ அளவான வலஞ்சுழி கோணச் சுழற்சிக்கு உட்படுத்தப்பட்டால், கப்பலானது எந்த நிலையை அடையும் என்பதை படம் 2·26 (ஆ) காட்டுகிறது. இப்போது புதிய மிதப் பாற்றல் மையம் B′ ஆகும். மிதப்பாற்றல் விசை இந்தப் புள்ளி யின் வழியாகச் செங்குத்தாகத் தொழிற்படுகிறது. BG என்ற நேர்கோடும், B′-ன் வழியாகத் தொழிற்படும் மிதப்பாற்றல் விசையின் கோடும் சந்திக்கும் புள்ளிக்கு மிதவைக் காப்புமையம் (metacentre) எனப் பெயர். இப்புள்ளி M எனக் குறிக்கப்படுகிறது. θ-ன் மதிப்பு சிறிதாக இருக்கும்வரை M-ன் இடத்தில் மாறுத லிருக்காது. படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள கப்பலுக்கு M-ன் இடம் G-க்கு மேலே இருக்கிறது. B′ வழியாகத் தொழிற்படும் மிதப் பாற்றல் விசை, G வழியாகத் தொழிற்படும் கப்பலின் எடை இவற்ருல் உண்டாகும் இரட்டையால் (couple) கப்பலானது அதனுடைய பழைய நிலைக்குக் கொண்டுவரப்படுகிறது. இந்த இரட்டையின் மதிப்பு $W \times x = W \times GM \sin \theta$ ஆகும். ஆனுல் M-ன் இடம் G-க்கு கீழே இருக்குமானுல், இந்த இரட்டையால் கப்பலானது மேலும் வலஞ்சுழியாகச் சுழற்றப்பட்டு தலைகீழ் நிலையை அடையும்.

GM என்ற அளவை மிதவைக் காப்புயரம் (metacentric height) என்கிருேம். ஒரு மிதக்கும் பொருள் நிலைப்பாடு உடைய

தாக இருக்கவேண்டுமானால், GM-ன் மதிப்பு நேராக இருக்க வேண்டும். அதாவது G யானது M-க்குக் கீழாக இருக்கவேண்டும்.

2·20. மிதவைக் காப்புயரத்தைத் தீர்மானித்தல்

ஒரு கப்பலின் அமைப்பும், அதனால் இடம் பெயர்க்கப்படும் பருமனளவும் தெரியுமானால், மிதவைக் காப்புயரத்தைத் தீர்மானிக்கலாம்.



படம் 2·27. மிதக்கும் பொருளில் மிதவைக் காப்புயரம்

படம் 2·27-ல் ஒரு கப்பலின் நிலப்படம் (plan) நீர்மட்டத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. அந்தக் கப்பலானது சமநிலையிலிருக்கும் போது G, B என்ற புள்ளிகளின் இருப்பிடமும் குறிக்கப் பட்டுள்ளன.

சலனத்தால் ஏற்படும் θ என்ற கோணத்தின் மதிப்பு மிகச் சிறியதாக இருக்கும்போது B ஆனது B′ என்ற புது இடத்திற்கு மாறுகிறது. இப்படி மிதப்பாற்றல் மையம் இடம் மாறுவதால் $W \times MB \times \theta$ என்ற இரட்டைத் திருப்புதிறன் உண்டாகிறது. இத் திருப்புதிறனால் கப்பல் அதன் பழைய நிலையை அடைய எத்தனிக் கிறது. கப்பலால் இடம் பெயர்க்கப்படும் பருமனளவு எப்போதும் ஒரே அளவினதாதலால், நீரின் மட்டத்திலிருந்து வெளிவந்துள்ள ஆப்பு வடிவமான OAA′ என்ற பாகத்திற்குச் சமமாக் ஆப்பு வடிவ மான OBB′ என்ற பாகம் நீரின் மட்டத்திற்குக் கீழ்ப்போக வேண்டும். இந்த ஆப்புகளால் ஏற்படும் நேர், எதிர் மிதப்பாற்றல் விசைகளால் கப்பலானது வலஞ்சுழியாகச் சுழற்றப்படுகிறது. இக்கப்பலானது சமநிலையிலிருக்க வேண்டுமானால், இந்த ஆப்புக்களால் ஏற்படும் இரட்டைத் திருப்புதிறன் முன்னர்

விளக்கப்பட்ட திருப்புதிறனுக்குச் சமமாகவும் எதிராகவும் இருக்க வேண்டும்.

இந்த ஆப்பு போன்ற அமைப்புகளால் உண்டாகும் இரட்டையின் மதிப்பைக் கணக்கிட OO என்ற அச்சிலிருந்து x தூரத்திலுள்ள, படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்ற, இரண்டு சிறிய பருமனளவுகளை எடுத்துக் கொள்ளவும். இந்தப் பருமனின் எடை $wL\theta dx$ ஆகும். ஆதலால் இந்தச் சிறிய பருமனெடையால் ஏற்படும் திருப்புதிறன் $wL\theta\, dx \times x^2$ ஆகும். இந்த மதிப்பை ஆப்பு முழுவதற்கும் தொகுத்தால், அதன் மதிப்பு $W \times MB \times \theta$ என்ற காக்கும் திருப்புதிறனுக்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும்.

$$W \times BM \times \theta = 2w\theta \int Lx^2 dx = 2w\theta \int x^2 dA$$

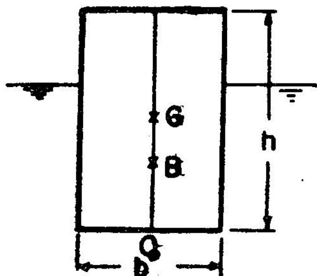
இதில் $dA = Ldx$ என்ற நீர்மட்டத்திலுள்ள பரப்பைக் குறிக்கும். $2\int x^2 dA$ என்பது OO என்ற அச்சிற்கு நீர்மட்டத்திலுள்ள கப்பல் பரப்பின் பரப்புத் திருப்புதிறன் (area moment) ஆகும்.

$$BM = \frac{w\theta I}{W\theta} = \frac{\frac{I}{W}}{w} = \frac{I}{V} \qquad (2{\cdot}19)$$

எனவே, மிதவைக் காப்புமையமான M-ன் இருப்பிடம் நீர்மட்டத்தில் கப்பலின் அமைப்பையும், கப்பல் இடம் பெயர்க்கும் பருமனளவையும் பொறுத்தது. இப்போது $GM = BM - BG$. பெரிய கப்பல்களில் மிதவைக் காப்புயரம் 0·3 மீ முதல் 1·2 மீ வரை இருக்கும். கப்பலின் நிலைப்பாட்டை அதிகரிக்க, மிதவைக் காப்புயரம் அதிகமாக இருக்க வேண்டும்.

மாதிரிக் கணக்கு 2·21. b அகலமும் h உயரமுமுள்ள ஒரு பொருளின் ஒப்பு அடர்த்தி S ஆகும். அப்பொருள் நிலைப்பாட்டுச் சமநிலையிலிருக்க $\frac{b}{h}$-ன் மதிப்பு எவ்வளவாக இருக்க வேண்டும்?

பொருளின் ஒரு அலகு நீளத்தை எடுத்துக் கொள்வோம்.



பொருளின் ஒப்பு அடர்த்தி $= S\ (<1)$

எனவே, மூழ்கிய பாகம் $= hS$

இப்போது $OG = \frac{h}{2}, OB = \frac{hS}{2}$

$$\therefore \quad BG = \frac{h}{2}\ (1 - S)$$

இப்போது $BM = \frac{\frac{1}{12} \times 1 \times b^3}{hS \times b \times 1}$

நிலைப் பாட்டிற்கு, $BM > BG$

$$\frac{b^2}{12hS} > \frac{h}{2}(1-S)$$

$$\therefore \frac{b}{h} > \sqrt{6S(1-S)}$$

மாதிரிக் கணக்கு 2·22. 10·3 மீ நீளம், 7·3 மீ அகலம், 2·4 மீ ஆழம் உள்ள ஒரு நீண்ட சதுரப் படகு (pontoon) அதன் மேற் தளத்தில் 70 டன் எடை, 5·5 மீ விட்டமுள்ள ஒரு கொதி கலனைத் (boiler) தாங்கிக் கொண்டிருக்கிறது. கொதி கலன், படகு இவற்றின் எடைமையங்கள் ஒரு செங்குத்துக் கோட்டில் இருக்கின்றன. இந்த அமைப்பின் மிதவைக் காப் புயரத்தைக் காண். கடல் நீரின் அடர்த்தி 1·03. படகின் எடை 74 டன்கள்.

$$l = 10{\cdot}3 \text{ மீ}$$
$$b = 7{\cdot}3 \text{ மீ}$$
$$d = 2{\cdot}4 \text{ மீ}$$

$$\text{படகு நீரிலிருக்கும் ஆழம்} = \frac{(74+70)}{7{\cdot}3 \times 10{\cdot}3 \times 1{\cdot}035}$$
$$= 1{\cdot}85 \text{ மீ}$$

G என்பது படகு, கொதிகலன் இவற்றின் பொது எடைமைய மானால், புள்ளி O-வைப் பொறுத்தவரை,

$$74 \times 1{\cdot}2 + 70\,(2{\cdot}4 + 2{\cdot}75) = 144 \times OG$$
$$OG = 3{\cdot}12 \text{ மீ}$$

இப்போது

$$BM = \frac{I}{V} = \frac{\frac{1}{12} \times 10{\cdot}3 \times 7{\cdot}3^3}{10{\cdot}3 \times 7{\cdot}3 \times 1{\cdot}85} = 2{\cdot}40 \text{ மீ}$$

$$BG = OG - OB = 3{\cdot}12 - \frac{1{\cdot}85}{2} = 2{\cdot}195 \text{ மீ}$$

எனவே,

$$GM = BM - BG = 2{\cdot}40 - 2{\cdot}195 = 0{\cdot}205 \text{ மீ}$$

மிதவைக் காப்புயரம் $= 0{\cdot}205$ மீ.

மாதிரிக் கணக்கு 2·23. 1 மீ விட்டம், 2·5 மீ உயரம், 1 டன் எடையுள்ள ஒரு உருளை வடிவான மிதவை (buoy) கடல் நீரில் செங்குத்தாக மிதக்காது என நிரூபி. அது செங்குத்தாக மிதக்க அதன் அடிப்பாகத்தில் இணைக்கப்பட்டுள்ள சங்கிலியில் என்ன சிறும விசை தொழிற்பட வேண்டுமெனக் கணக்கிடு. கடல் நீரின் அலகு எடை $=1035$ கிகிஎ/மீ^{3}

$$\text{மிதவை மூழ்கும் ஆழம்} = \frac{1000}{\frac{\pi}{4}\times 1^2 \times 1035}$$

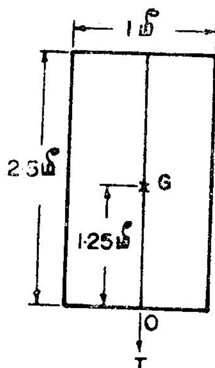
$=1{\cdot}23$ மீ

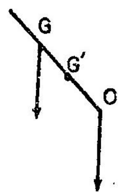
$$BM = \frac{I}{V} = \frac{\pi\times 1^4\times 4}{64\times\pi\times 1^2\times 1{\cdot}23}$$

$= 0{\cdot}0507$ மீ

$BG = OG - OB$

$$= 1{\cdot}25 - \frac{1{\cdot}23}{2} = 0{\cdot}635 \text{ மீ}$$





இப்போது $BG > BM$. எனவே, மிதவைச் செங்குத்தாக மிதக்காது. O என்ற புள்ளியில் இணைக்கப்பட்டிருக்கும் சங்கிலியில் இழுவிசை T கிகிஎ ஆக இருக்கட்டும்.

மொத்த கீழ்நோக்கி விசை $=(1000+T)$ கிகிஎ

$$\left.\begin{array}{r}\text{இடம் பெயர்க்கப்பட்ட கடல் நீரின்}\\ \text{பருமனளவு}\end{array}\right\} = \left(\frac{1000+T}{1035}\right)\text{மீ}^3$$

$$\left.\begin{array}{r}\text{இப்போது மிதவை நீரினுள் இருக்கும்}\\ \text{ஆழம்}\end{array}\right\} = \frac{4\,(1000+T)}{1035\times\pi\times 1^2}$$

புதிய மிதப்பாற்றல் மையம் B' ஆக இருக்குமானல்,

$$OB' = \frac{2(1000+T)}{1035\,\pi}$$

இப்போது

$$B'M' = \frac{I}{V} = \frac{\pi\times 1^2\times 4\times 1035\pi}{64\times\pi\times 1^2\times 4(1000+T)}$$

$$= \frac{1035\pi}{64(1000+T)}$$

இப்போது G என்ற புள்ளியில் தொழிற்படும் எடை O என்ற புள்ளியில் தொழிற்படும் இழுவிசை இவற்றின் பொது எடைமைய மான G′-ஐக் கணக்கிடவேண்டும்.

$$1000 \times 1{\cdot}25 = (1000 + T)\, x$$

$$\therefore x = OG' = \frac{1250}{1000 + T}$$

இப்போது $B'G' = OG' - DB'$

$$= \frac{1250}{1000 + T} - \frac{2(1000 + T)}{1035\pi}$$

நிலைப்பாட்டுச் சமநிலைக்கு $B'M' > B'G$ ஆக இருக்க வேண்டு மாதலால்,

$$\frac{1035}{64(1000 + T)} > \frac{1250}{(1000 + T)} - \frac{2(1000 + T)}{1035\pi}$$

$B'M' = B'G'$ என்ற நிபந்தனைக்குத் தீர்த்தால்,

T = 400 கிகிஎ.

எனவே, O என்ற இடத்தில் பொறுத்தப்பட்டுள்ள சங்கிலியில் இழுவிசை குறைந்த 400 கிகிஎ இருக்கவேண்டும். அப்பொழுது தான் மிதவை செங்குத்தாக மிதக்கும்.

2·21. மிதவைக் காப்புயரத்தைச் சோதனை மூலம் தீர்மானித்தல்

ஒரு கலத்தின் மிதவைக் காப்புயரத்தைச் சோதனை மூலம் எளிதில் கண்டறியலாம். கலத்தின் மத்தியில் படம் 2·28-ல் உள்ள

படம் 2·28. சோதனைமூலம் மிதவைக் காப்புயரம்

படி P என்ற மதிப்புள்ள எடையை வைக்கவும். P என்ற எடை, கலம் இவற்றின் பொது எடைமையம் G ஆகவும், மிதப்பாற்றல்

மையம் B ஆகவும் இருக்கட்டும். P கலத்தின் மேற்தளத்தில் x தூரம் நகர்த்தப்படுகிறது. இதனல் ஏற்படும் புறச்சாய்வுக் கோணமான (angle of heel) θ கலம் சமநிலை அடைந்தபின் கோண மானியால் அளக்கப்படுகிறது. இப்போது எடைமையம் G′ என்ற இடத்திற்கு மாறுகிறது. அதேபோல் மிதப்பாற்றல் மையமும் புதிய இடமான B′-ஐ அடைகிறது. இந்தக் கலமானது சம நிலையிலிருப்பதால், B′ வழியாகத் தொழிற்படும் மிதப்பாற்றல் விசையும், G′ வழியாகத் தொழிற்படும் எடையும் ஒன்றுக்கொன்று சமமாகவும் எதிராகவும் ஒரே செங்குத்து நேர் கோட்டிலிருக்க வேண்டும். BG, B′G′ என்ற இரண்டு கோடுகளும் M என்ற இடத்தில் சந்திக்கட்டும். இப்போது GM என்பது மிதவைக் காப்புயரமாகும்.

G என்ற எடைமையம் G′ என்ற இடத்திற்கு இடம் பெயர்வ தால் ஏற்படும் திருப்புதிறனின் மதிப்பு $GG' \times W$ ஆகும். P என்ற எடை x தூரம் நகர்ந்ததால் ஏற்பட்ட திருப்புதிறன் $P \times x$ ஆகும். இந்த இரண்டு திருப்புதிறன்களின் மதிப்புகளும் சமமாக இருக்க வேண்டும். எனவே,

$$GG' \times W = P \times x$$

ஆனல்

$$GG' = GM \tan\theta$$

$\therefore$

$$GM = \frac{Px}{W \tan\theta} \tag{2·20}$$

மாதிரிக் கணக்கு 2·24. 76 மீ நீளம், 9 மீ அகலம் உள்ள ஒரு கப்பல் 2000 டன் நீரை இடம் பெயர்க்கிறது. 40 டன் எடையானது 6 மீ தூரம் அதன் மேற்தளத்தில் நகர்த்தப்படும்போது, அது 7° சாய்கிறது. அதன் சடத்துவத் திருப்புதிறன் (moment of inertia) நீர்மட்டத்தில் நிலப்படத்தைத் தன்னுள் கொண்ட நீண்ட சதுரத் தின் சடத்துவத் திருப்புதிறனில் 75 சதவீதமாகும். நீர் மட்டத்தி லிருந்து மிதப்பாற்றல் மையம் 2 மீ கீழே இருக்கிறது. கப்பலின் மிதவைக் காப்புயரத்தையும், எடைமையத்தையும் காண்.

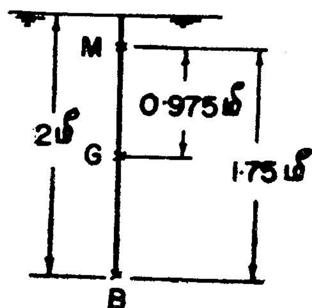
$\theta = 7°$ $W \times 2000$ டன்கள்

$P = 40$ டன்கள்

$x = 6$ மீ

$l = 76$ மீ

$b = 9$ மீ



$$I = 0·75 \times \frac{1}{12} \times 76 \times 9^3 = 3460 \text{ மீ}^4$$

$$V = \frac{2000}{1·035} = 1930 \text{ மீ}^3$$

$$BM = \frac{I}{V} = \frac{3460}{1930} = 1{\cdot}79 \text{ மீ}$$

$$GM = \frac{Px}{W \tan\theta} = \frac{40 \times 6}{2000 \times \tan 7^\circ}$$

$$= \frac{240}{2000 \times 0{\cdot}123}$$

$$= 0{\cdot}975 \text{ மீ}$$

$BG = BM - GM = 1{\cdot}79 - 0{\cdot}975 = 0{\cdot}815$ மீ. எனவே, G ஆனது $(2 - 0{\cdot}815) = 1{\cdot}185$ மீ நீர்மட்டத்திற்குக் கீழே இருக்கிறது.

பயிற்சிக் கணக்குகள்

2·1. ஒரு எண்ணைத் தொட்டியில் 0·92 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள எண்ணெ 3·5 மீ ஆழமிருக்கிறது. அதன் அடித்தளத்தி லுண்டாகும் அழுத்தச் செறிவைக் கணக்கிடு.

2·2. சைக்கிள் சக்கரம் ஒன்றில் ஏற்படும் அழுத்த விசை 50 கிகிஎ ஆகும். அச் சக்கரம் தரையைத் தொடும் பரப்பு 12 ச.செமீ. ஆனல், சக்கரத்திலுள்ள காற்றழுத்தம் என்ன ?

2·3. 1 மீ உயரமுள்ள ஒரு கலத்தில் 0·45 மீ உயரத்திற்கு நீரும் 0·35 மீ உயரத்திற்கு 0·8 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள எண்ணெ யும் இருந்தால், அதன் அடித்தளத்திலுண்டாகும் அழுத்தச் செறிவு என்ன ?

2·4. 4 மீ உயரமுள்ள ஒரு மூழ்கும் கூண்டு (diving bell) அதன் அடிப்பாகம் நீர்மட்டத்திற்கு 30 மீ ஆழத்தில் இருக்கும் படி கீழே இறக்கப்படுகிறது. அந்தக் கூண்டினுள் எவ்வளவு உயரத்திற்கு நீர் செல்லும் என்பதையும், கூண்டினுள் ஏற்படும் அழுத்தத்தையும் கணக்கிடு.

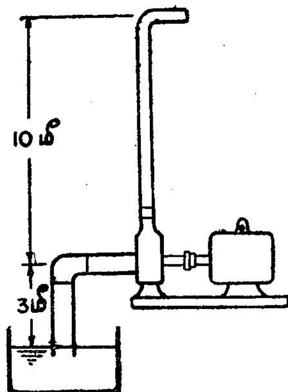
2·5. ஒரு பம்பு 300 மீ உயரத்திற்கு நீரை ஏற்றும்போது, அப் பம்பின் வெளிவாயிலில் ஏற்படும் அழுத்தச் செறிவு என்ன ?

2·6. 200 மிமீ. உயரத்திற்கு ஒரு குழாயின் வழியாகப் பாலை உறிஞ்சி குடிக்கத் தேவையான உறிஞ்சி அழுத்தம் (suction pressure) என்ன ? பாலின் ஒப்பு அடர்த்தி 0·93.

2·7. கணக்கு 2·3-ல் கலத்தின் மேற்பாகம் காற்றுப் புகாதபடி அடைக்கப்பட்டு, அதிலுள்ள காற்றழுத்தம் 3 மீ நீரின்

உயரத்திற்கு வளிமண்டல அழுத்தத்திற்குக் கீழே குறைக்கப்பட்டால், கலத்தின் அடித்தளத்தில் ஏற்படும் அழுத்தம் என்ன ?

2·8. நீரியல் ஆய்வுக்கூடத்தில் படத்திலுள்ளபடி பாதாளத் தொட்டியிலிருந்து மேலுள்ள தொட்டிக்கு நீரானது ஏற்றப்படுகிறது. பம்பு வேலை செய்யும்போது பம்பிற்கு முன்னும் பின்னுமுள்ள நீரின் அழுத்தங்களைக் கணக்கிடு.



2·9. 2 மீ × 1 மீ அடித்தளம், 1·5 மீ உயரமுள்ள ஒரு நீர் தொட்டியில் நிறைய நீர் இருக்கிறது. அதன் பக்கங்களில் ஏற்படும் நீர்நிலையியற் அழுத்த விசைகள் என்ன ?

2·10. 3 மீ அகலமும், 5 மீ உயரமுமுள்ள ஒரு மதகுக் கதவின் நடுப்பாகம் நீரின் மட்டத்திலிருந்து 30 மீ ஆழத்திலிருக்கிறது. அக்கதவில் தொழிற்படும் நீர்நிலையியற் விசை என்ன? உருளைகளுக்கும், கதவு நகரும் தண்டவாளங்களுக்குமிடையேயுள்ள உராய்வுக்கெழு 0·3 ஆகுமானல், அந்தக் கதவைச் செங்குத்தாகத் தூக்க என்ன விசை தேவைப்படும் ?

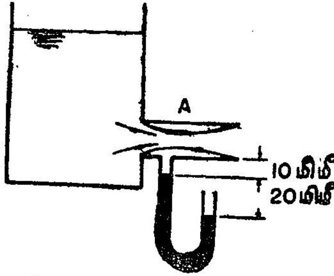
2·11. வெப்பநிலை மாறுநிலையில் வளிமண்டல அழுத்தமானது வரம்பிலா (infinite) உயரத்தில் சுழி அழுத்தத்தை அடையும் என நிரூபி.

2·12. வெப்பநிலை மாறும் நிலையில் வளிமண்டல அழுத்தம் எந்த உயரத்தில் சுழியாகும் ?

2·13. கடல் மட்டத்தில் வளிமண்டல அழுத்தம் 101·3 கிநி/மீ^{2} (1·03 கிகிஎ/செமீ^{2}) ஆகும். ஒரு மலை உச்சியில் வளிமண்டல அழுத்தம் 93·2 கிநி/மீ^{2} (0·95 கிகிஎ/செமீ^{2}) ஆகும். காற்றின் வெப்பநிலை 15°C மாறுமலிருந்தால் அந்த மலைஉச்சியின் உயரம் என்ன ?

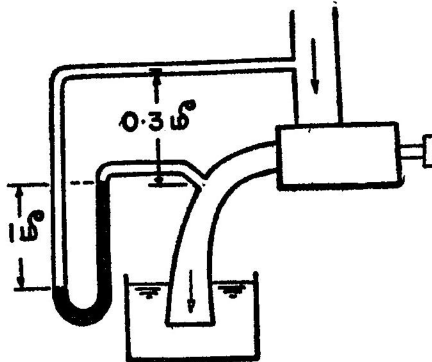
2·14. 3000 மீ உயரத்தில் தரவளி மண்டலத்தில் (standard atmosphere) காற்றழுத்தம் என்ன? வெப்பநிலை குறையும் வீதம் 0·00015° C/மீ.

2·15. ஒரு வாயருகு கருவியின் (mouth piece) தாரை இறுக்கத்தில் (vena contracta) பொறுத்தப்பட்டுள்ள பாதரச அழுத்தமானியில் 20 மிமீ காட்சிப் பதிவு (reading) உள்ளது. அந்த வாயருகு கருவியில் *A* என்ற இடத்திலுள்ள அழுத்தம் யாது ?



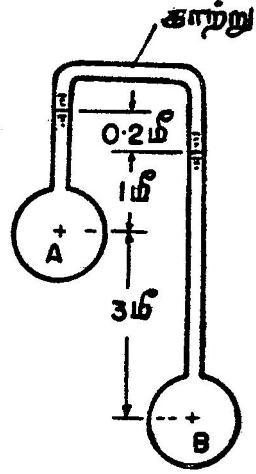
2·16. ஒரு காற்றுக் கடத்தியிலுள்ள (air duct) குழாய்மானித் துளையில் U-குழாய் அழுத்தமானியின் ஒரு புயம் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. மற்றொரு பக்கம் வளிமண்டல அழுத்தத்திற்குத் திறந்து இருக்கிறது. அந்த அழுத்த மானியில் நீரின் மட்ட வேறுபாடு 0·3 மீ ஆனல், காற்றுக் கடத்தியிலுள்ள அழுத்தம் என்ன ?

2·17. ஆய்வுக் கூடத்திலுள்ள ஒரு டர்பைனில் (turbine) தொழிற்படும் தலைப்பை (head) அளக்கப் படத்திலுள்ள படி ஒரு பாதரச அழுத்தமானி பயன்படுத்தப்படுகிறது.

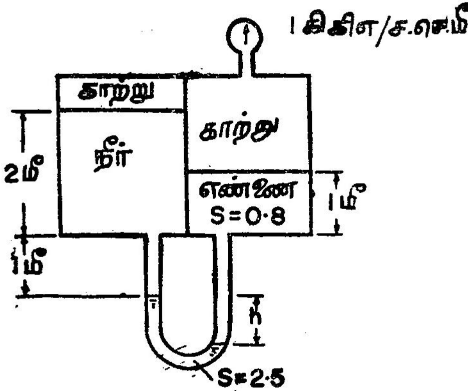


பாதரச மட்ட வேறுபாடு 1 மீ ஆனல், அந்த டர்பைனில் தொழிற்படும் மொத்தத் தலைப்பு என்ன ?

2·18. A, B என்ற இரண்டு புள்ளிகளுக் கிடையேயுள்ள அழுத்த வேறு பாட்டை அளக்கத் தலைகீழ் U-குழாய்மானி பயன்படுத்தப் படுகிறது. அந்த U-குழாயின் மேற்பாகம் காற்றால் நிரம்பி யிருந்தால், படத்திலுள்ள அந்தக் குழாயின் வழியாக (அ) நீர் பாயும் போது (ஆ) 0·65 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள எண் ணெய் பாயும் போது, A, B இரண்டு புள்ளிகளிடையே உள்ள அழுத்த வேறுபாட்டைக் கணக்கிடு.

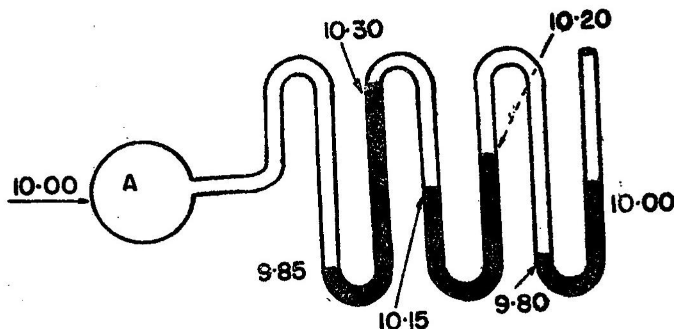


2·19. படத்திலுள்ள நீரின் மேல்மட்டத்திலுள்ள காற்றின் அழுத்தம் 3·5 மீ நீரின் உயரத்திற்குச் சமமானால் h-ன்



மதிப்பு மீட்டரில் என்ன? (மானித் திரவத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி 2·5)

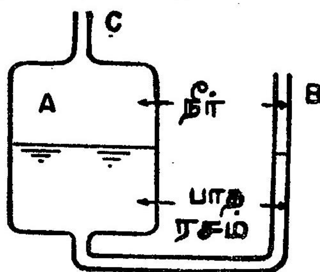
2·20. தொடர்வாகவுள்ள U-குழாய் பாதரசமானியால் குழா



யின் அழுத்தம் அளக்கப்படுகிறது. படத்திலுள்ள காட்சிப் பதிவிற்குக் குழாயில் அழுத்தம் என்ன?

2·21. சீரான வெட்டுப் பரப்புடைய ஒரு U-குழாயின் ஒரு பக்கத்தில் 0·685 மீ உயரத்திற்கு நீர் மட்டம் இருக்கும்படி மற்றொரு பக்கத்தில் பாதரசம் இருக்கிறது. ஒரு அடைப்பால் அடைக்கப்பட்ட ஒரு சிறிய கிடைக்குழாய் அந்த U-குழாயின் இரு பக்கங்களையும் பாதரசம், நீர் பிரிக்கப் படும் இடத்திலிருந்து 2 செமீ உயரத்தில் இணைக்கிறது. இந்த இணைப்புக் குழாய் திறக்கப்பட்டு U-குழாயின் இரு புயங்களுக்கும் தொடர்பு ஏற்பட்டால், அந்த இணைப்புக் குழாயின் வழி எத்திசையில் திரவம் பாயும். சமநிலை அடைவதற்கு முன் அந்தக் குழாய்வழி பாயும் திரவத்தின் பருமனளவு என்ன?

2·22. ஒரு பாதரச அழுத்தமானியில் A என்ற விரிவுபடுத்தப் பட்ட பகுதியின் பரப்பளவானது B என்ற பகுதியின் பரப்பைவிட 50 மடங்கு பெரிது. 30 கிநி/மீ² அழுத்தமானது C என்ற புயத்தில் இணைக்கப்பட்டால், A, B இவற்றில் ஏற்படும் பாதரச மட்டங்களின் மாறுதல்கள் என்ன?



2·23. ஒரு கால்வாயின் பக்கச் சரிவு 45° ஆகும். அதில் 3 மீ ஆழத்திற்கு நீர் ஓடிக்கொண்டிருப்பதால், அதன் பக்கத்

தில் 1 மீ நீளத்தில் தொழிற்படும் மொத்த நீர்நிலையியற் விசையையும், அதன் தொழில் அழுத்த மையத்தையும் கணக்கிடு. ($S=1{\cdot}08$.)

2·24. ஒரு செங்குத்தான r ஆரம், $2h$ உயரமுள்ள உருளையின் உட்பாகம் ρ, σ அடர்த்திகள் உள்ள இரண்டு திரவங்களால் சரி அளவிற்கு நிரப்பப்பட்டு மூடப்பட்டுள்ளது. அதன் அச்சு படிப்படியாக சாய்க்கப்படுமானல், அந்த உருளையின் அடிப்பாகத்தில் அழுத்தச் செறிவு

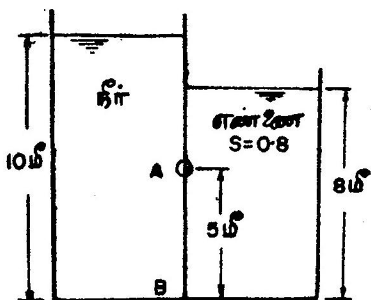
$$g\,(\rho+\sigma)\,(r^2+h^2)^{\frac{1}{2}}$$

என்ற மதிப்பிற்கு அதிகமாகாது என நிரூபி.

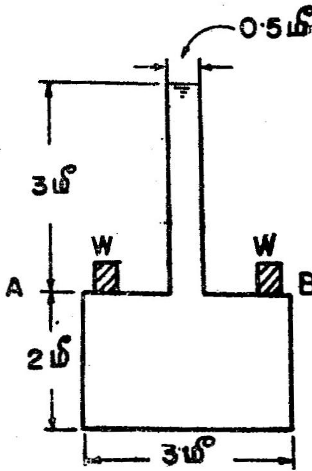
2·25. 3 மீ நிளம், 2 மீ அகலமுள்ள ஒரு நீண்ட சதுரத் தகடு 0·85 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள எண்ணெயில் 2 மீ பக்கம் எண்ணெயின் மேற்தளத்திற்கு இணையாக இருக்கும்படி மூழ்கியிருக்கிறது. 2 மீ பக்கங்கள் எண்ணெ மட்டத்திலிருந்து 4 மீ, 5 மீ ஆழங்களில் இருக்கின்றன. அந்தத் தகட்டின் ஒரு பக்கத்தில் ஏற்படும் அழுத்த விசையையும், அது தொழிற்படும் புள்ளியையும் கணக்கிடு.

2·26. 1 மீ கன சதுரமுள்ள மூடிய தொட்டியின் மேற்பக்கத்தில் 50 மிமீ விட்டமுள்ள திறந்த குழாய் 2 மீ உயரம் வரை இருக்கும்படி பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்தத் திறந்த குழாய்வரை நீரால் நிரப்பப்பட்டால், தொட்டியின் பக்கங்களிலும், அடித்தளத்திலும் தொழிற்படும் விசைகளின் மதிப்புகள் என்ன ?

2·27. படத்திலுள்ள AB என்ற கதவு நீரும் எண்ணெயும் கலக்காமல் பிரிக்கிறது. அந்தக் கதவு மூடியிருப்பதற்கு B என்ற புள்ளியில் தேவையான சிறும விசை என்ன ? A-யின் கீல் பொறுத்தப் பட்டிருக்கிறது. ஒரு மீட்டர் அகலத்தை எடுத்துக் கொள்ளவும்.



2·28. ஒரு சமபக்க முக்கோண வடிவமான தகடு அதன் அடிப்பாகம் நீர்மட்டத்திலிருந்து 1 மீ-க்குக் கீழே இணையாக



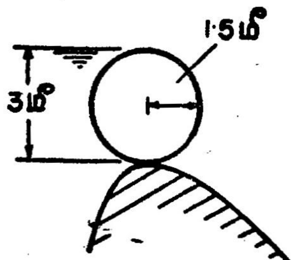
வும், எதிர்முனை 2 மீ-க்குக் கீழேயும் இருக்கும்படி சாய்வான நிலையில் மூழ்கி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. முக்கோணத்தின் பக்கம் = 1·2 மீ. அந்த முக்கோணத்தின் ஒரு பக்கத்தில் தொழிற்படும் விசையையும், அது தொழிற்படும் புள்ளியையும் காண்.

2·29. படத்திலுள்ள அமைப்பில் கிடைவெட்டுத்தளங்கள் வட்டங்களாக உள்ளன. AB என்ற வட்டத்தட்டில் W எடையுள்ள இரண்டு எடைகள் வைச்கப்பட்டுள்ளன. உராய்வைப் புறக்கணித்துவிட்டு, அந்த எடைகளின் மதிப்பைக் காண்.

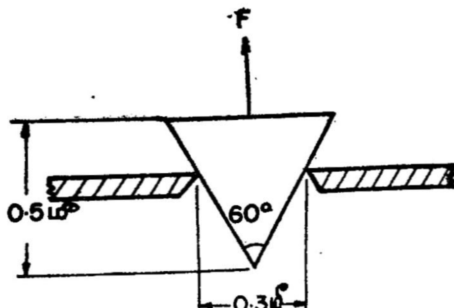
2·30. ஒரு மூழ்கிய தளம் T வடிவில் உள்ளது. அதன் தண்டு 1·5 மீ அகலமும் 2·5 மீ உயரமும் உடைத்து. குறுக்குச் சட்டம் 1·2 மீ உயரமும், 2·8 மீ நீளமும் உடையது. தண்டின் அடிமுனை நீர்மட்டத்திலிருந்து 0·3 மீ ஆழத்திலிருக்கும்படி 25° சாய்வில் நீரில் முழுவதும் மூழ்கி இருக்கிறது. தளத்தில் ஏற்படும் நீர்நிலையியல் விசையையும், அது தொழிற்படும் இடத்தையும் கணக்கிடு.

2·31. ஒரு சதுரத் தளம் அதன் எடைமையம் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்திலிருக்கும்படி செங்குத்தாக ஒரு திரவத்தில் மூழ்கி இருக்கும்படி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அந்த திரவத்தின் அடர்த்தி ஆழத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் அதிகரிக்குமானால், அந்தத் தளம் எவ்வாறு சாய்க்கப்பட்டாலும், அதில் செயற்படும் விசையின் அளவு மாறாது என நிரூபி.

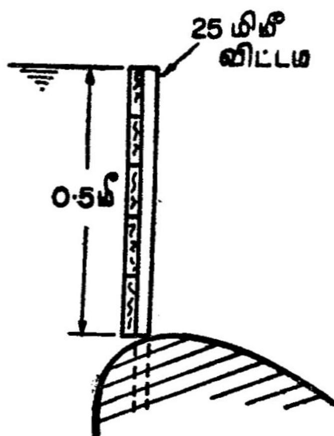
2·32. படத்திலுள்ள உருளை வடிவான கதவின் நீளம் 10 மீ அந்த உருளையில் செயல்படும் விசையின் அளவையும், இடத்தையும் காண்.



2·33. ஒரு பாசனக் குளத்தின் மதகில் 98 நி (10 கிகி) எடையுள்ள ஒரு கூம்பு (conic) அமைப்புள்ள அடைப்பான் (plug) பொறுத்தப்பட்டுள்ளது. படத்திலுள்ளபடி இந்த அடைப்பான் நீரில் முழுவதும் மூழ்கியிருக்கும்போது, அந்த அடைப்பானைத் தூக்கத் தேவைப்படும் விசை என்ன?

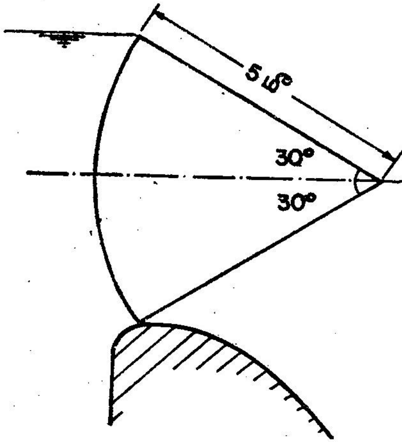


2·34. வடிகாலின் உச்சியிலுள்ள தடுப்புக்கள் 0·5 மீ உயரமுள்ளன. அவைகள் செங்குத்தாக இருக்கும்படி 25 மிமீ. விட்டமுள்ள எஃகுக் கம்பிகளால் குறிப்பிட்ட இடைவெளி விட்டு இணைக்கப்பட்டுள்ளன. எஃகுக் கம்பி 27 மீ-கிகி திருப்புதிறனில் முழுவதும் வளைந்து கொடுக்குமானல், அந்தத் தடுப்புக்களின் மேல்மட்டத்திற்கு நீர் உயர்ந்த உடன் அவைகள் கீழே விழும்படி ஆவதற்கு அந்த எஃகுக் கம்பிகள் ஒன்றுக் கொன்று எவ்வளவு தூரத்தில் அமைக்கப்படவேண்டும்?



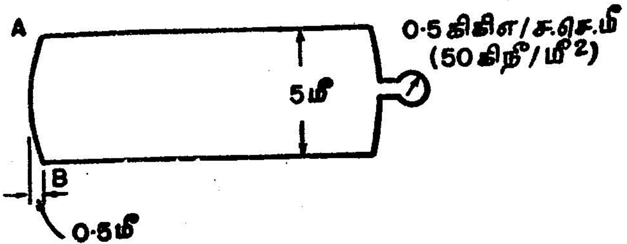
2·35. 1·2 மீ சதுரமுள்ள ஒரு தகடு 0·8 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள திரவத்தில் செங்குத்தாக எந்த ஆழத்தில் வைத்தால், நீர்நிலையியல் அழுத்தமையம் அந்தத் தகட்டின் எடைமையத்திலிருந்து நேராக 0·1 மீ கீழே இருக்கும். அத்தகட்டின் ஒரு பக்கத்தில் தொழிற்படும் நீர்நிலையியல் விசை என்ன?

2·36. கிடையான உருளைப் பீப்பாயின் ஒரு புறம் அதன் மேல் மட்டத்திலிருந்து 0·2 மீ. ஆழம்வரை நீர் இருக்கிறது. பீப்பாயில் தொழிற்படும் கிடைவிசை என்ன?



2·37. ஒரு டெயின்டர் கதவு (Tainter gate) 8 மீ நீளமும் 5 மீ ஆரமும் உள்ளது. அது முழு உயரத்திற்கும் நீர் நிற்குமானல், அதில் தொழிற்படும் நீர் நிலையியல் விசையின் கிடை, செங்குத்துக் கூறுகளைக் கணக்கிடு.

2·38. படத்திலுள்ள ஒரு எண்ணெய் பீப்பாய் முழுவதும் எண்ணெயால் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. அதில் பொருத்



தப்பட்டுள்ள அழுத்தமானி 0·50 கிகிஎ/மீ² (50 கிநி/மீ²) காட்டுமானல், அதன் பக்கம் AB-ல் தொழிற்படும் விசை என்ன? ($S=0{\cdot}85$)

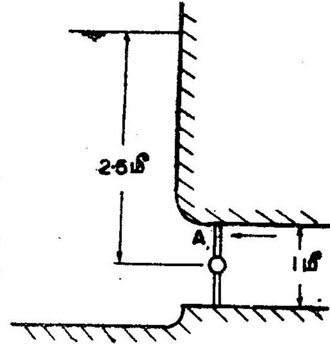
2·39. ஒரு சமபக்க முக்கோணத்தின் முனைகள் நீரின் மட்டத்திலிருந்து a, b, c என்ற ஆழங்களில் இருக்குமானல், அதில் அழுத்த மையத்தைக் காண்.

2·40. ஒரு நீண்ட சதுரப் பரப்பானது அதன் இரண்டு விளிம்புகள் கிடையாகத் திரவத்தில் மூழ்கியிருக்கும்படி வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. சம நீர்நிலையியல் விசைகள் தொழிற்படும்படி அது மூன்று கிடைப் பிரிவுகளாகப் பிரிக்கப்படுமானல், ஒவ்வொரு கிடைப்பிரிவின் ஆழங்கள் என்ன?

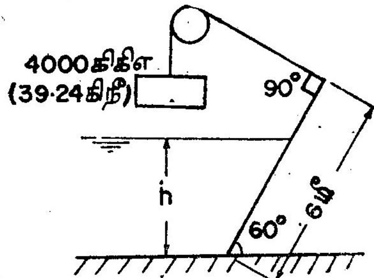
2·41. ஒரு கூம்பு முழுவதும் நீரால் நிரப்பப்பட்டு, அதன் முனை மேலிருக்கும்படியும், அடிப்பாகம் கிடைத்தளத்திலிருக்கும்படியும் வைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அதன் வளைந்த பரப்பில் தொழிற்படும் நீர்நிலையியல் விசை என்ன ?

2·42. நீரால் நிரப்பப்பட்ட 2α தாங்கு கோணமுள்ள ஒரு கூம்பு ஒரு கிடைத்தளத்தில் சாய்வாக இருக்கிறது. அந்த நிலையில் அதன் வளைந்த பரப்பில் தொழிற்படும் விசையின் தொகுபயன் அதிலுள்ள நீரின் எடையை விட $\sqrt{1+15\sin\alpha}$ மடங்கு அதிகமென நிரூபி.

2·43. ஒரு பென்ஸ்டாக் (penstock) குழாயில் படத்திலுள்ளபடி ஒரு அடைப்பான் பொறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. அந்த அமைப்பைச் செங்குத்தாக வைத்திருக்க A-யில் என்ன மதிப்புள்ள விசை தொழிற்பட வேண்டும் ?

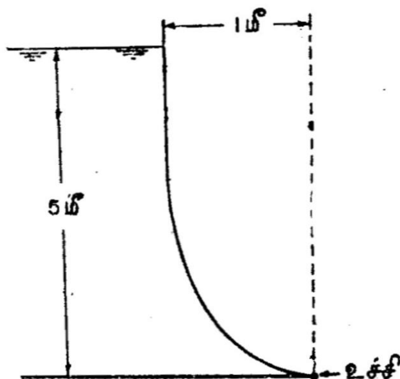


2·44. 6 மீ × 2 மீ அளவுள்ள ஒரு கதவு கிடைத்தளத்திற்கு 60° சாய்ந்திருக்கும்படி ஒரு கீலால் பொறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. அதன்அமைப்பு படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. அந்தக் கதவை நிலையாக இருக்கச் செய்வதற்கு 4000கிகி (39·24 கிநி) எடை பயன்படுத்தப்படுகிறது.



எந்த அளவிற்கு நீரின் ஆழம் h உயர்ந்தால், கதவு தானாக கீழேவிழத் தொடங்கும் ? கதவின் எடையையும், உராய்வையும் புறக்கணி.

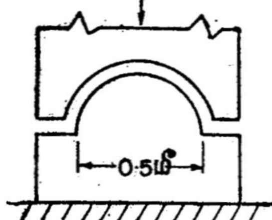
2·45. ஒரு தண்ணீர்த் தொட்டியின் பக்க அமைப்பு படத்திலுள்ளபடி பரவளைவு (parabola) வடிவுடையது. அப்பரப்பில் தொழிற்படும் நீர்நிலையியல் விசையின்



கிடை, செங்குத்துக் கூறுகள் என்ன ? 1 மீட்டர் அகலத்தை எடுத்துக் கொள்ளவும்.

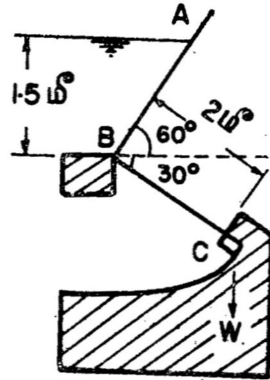
2·46. $2a$, a நீளமுள்ள ஒரு சரிவகமானது (trapezium) நீரின் அந்த விளம்புகள் முறையே h, $2h$ ஆழங்களின் நீர் மட்டத்திற்கு இணையாக இருக்கும்படி மூழ்கி வைக்கப் பட்டிருக்கின்றன. அதன் அழுத்தமையம் $\frac{3h}{2}$ ஆழுத்திலிருக்கும் என நிருபி.

2·47. கணக்கு 2·46-ல் சரிவகமானது நீர்மட்டத்திற்கு θ கோணத்தில்சாய்ந்திருந்தால், அழுத்த மையத்தைக் காண்.



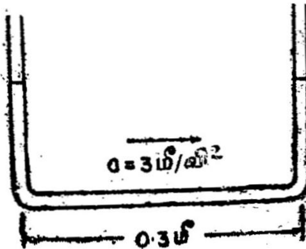
2·48. படத்திலுள்ள தாங்கியின் (bearing) அடியில் என்ன அழுத்தத்தில் உயவெண்ணெ (lubricating oil) அனுப்பப்பட வேண்டும் ?

2·49. படத்திலுள்ள 5 மீ அகலமுள்ள தானியங்கும் கதவில் (automatic gate) *C* என்ற புள்ளியில் எவ்விதமான விசையும் இல்லாதிருக்க வேண்டுமானால், *W* என்ற எடையின் மதிப்பு என்ன? *W*-வின் மதிப்பு சுழியானால் *C*-யில் என்ன அழுத்த விசை ஏற்படும்?

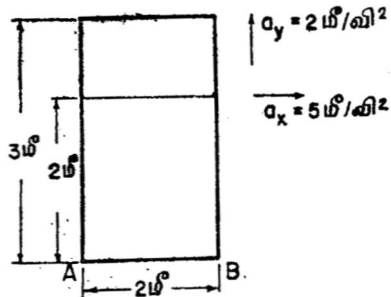


2·50. ஒரு திறந்த பாத்திரத்தில் ஒன்றோடொன்று கலக்காத இரண்டு திரவங்கள் இருக்கின்றன. இந்தப் பாத்திரம் கிடையாக முடுக்கப்பட்டால், அந்த சந்திப்புத்தளமும் (interface) மேல்மட்டமும் இணையாக இருக்குமென நிருபி.

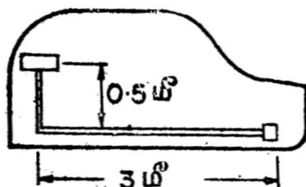
2·51. படத்திலுள்ள U-குழாயை முடுக்கமானியாகப் பயன்படுத்தலாம். U-குழாய் ஊர்தி போகும் திசையில் வைக்கப்படுகிறது. ஊர்தி 3 மீ/வி² முடுக்கத்தில் செல்லுமானால், U-குழாயின் புயங்களுக்கிடையேயுள்ள நீர் மட்ட வேறுபாடு என்ன?



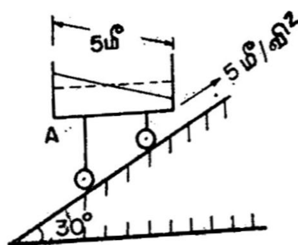
2·52. கலமானது படத்திலுள்ளபடி முடுக்கப்பட்டால் A, B என்ற புள்ளிகளில் ஏற்படும் அழுத்தம் என்ன? கலத்திலுள்ள திரவத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி 2·0.



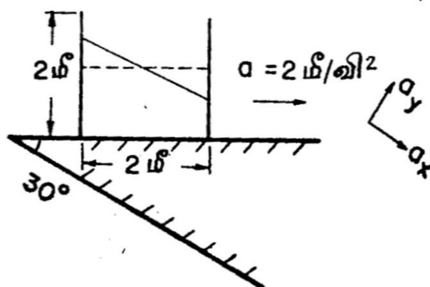
2·53. படத்திலுள்ள அமைப்பின்படி காரானது (car) அதன் எரிபொருளை உயர வேறு பாட்டால் அடைகிறது. எரிபொருள் தங்கு தடையின்றி வரவேண்டுமானால், முடுக்கம் எந்த அளவு உச்சத்தைத் தாண்டக் கூடாது?



2·54. 0·8 ஒப்பு அடர்த்தித் திரவமுடைய பாத்திரமானது 30° சாய்வு தளத்தில் 5மீ/வி² முடுக்கத்தில் செல்கிறது. திரவத்தின் மேற்பரப்பு இந்நிலையில் கிடைத்தளத்திற்கு எவ்வளவு சாய்ந்திருக்க வேண்டும்? A என்ற புள்ளியில் பாத்திரம் முடுக்கத்திற்குட்படும் போது அழுத்தம் என்ன?



2·55. 2 மீ கன சதுரப் பாத்திரத்தில் பாதியளவு 0·8 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள திரவம் இருக்கிறது. அந்தப் பாத்திரம் 30° சாய்வு தளத்தில் 2 மீ/வி² முடுக்கத்தில் செல்லு



மானால் அப்பாத்திரத்தின் அடித்தளத்தில் அழுத்த வரைபடத்தை வரைக.

2·56. 2 மீ × 1·5 மீ × 1·5 மீ மூடிய எஃகுப் பாத்திரமானது 2 டன் எடையுள்ளது. அந்தப் பாத்திரம் சுத்தமான நீரில் எவ்வளவு ஆழம் மூழ்கும்?

2·57. கணக்கு 2·56-ல் உள்ள பாத்திரம் நீரின் மேல்மட்டம் வரை சரியாக மூழ்கி இருக்கவேண்டுமானால், அந்தப் பாத்திரத்தினுள் எவ்வளவு கன அளவு பாதரசம் ஊற்ற வேண்டும்?

2·58. 50 கிகி எடையுள்ள மனிதனை 60 மிமீ கனமும் 0·3 மீ அகலமும் உள்ள கட்டையானது ($S=0·35$) முழுவதும் மூழ்கித் தாங்க வேண்டுமானால், அதன் நீளம் என்ன?

2·59. ஒரு மீட்டர் கன அளவுள்ள ஒரு பனிக்கட்டியின் எடை 915 கிகிஎ ஆகும். 1·035 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள கடல் நீரில் 2 மீ. கன அளவுள்ள பனிக்கட்டி எவ்வளவு மூழ்கியிருக்கும்?

2·60. 10 கி. எடையுள்ள ஒரு ஒப்பு அடர்த்திமானியின் தண்டு 4 மிமீ விட்டமுள்ளது. சுத்த நீரிலும், 0·95 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள பாலிலும் மானியின் பெரிய பாகம் முழுவதும் மூழ்கியிருக்கும்போது மூழ்கும் உயர வேறுபாடு என்ன?

2·61. ஒரு செம்புத் துண்டோடு 26·65 கி எடையுள்ள மெழுகுத் துண்டு கட்டப்பட்டு நீரில் இரண்டும் மூழ்கியிருக்கும் போது அவற்றின் மொத்த எடை 18·2 கி. ஆகும். செம்புத் துண்டு மட்டும் நீரில் மூழ்கியிருக்கும்போது, அதன் எடை 10·25 கி. ஆகும். மெழுகின் ஒப்பு அடர்த்தி என்ன?

2·62. ஒரு டன் எடையுள்ள ஒரு பலூன் காற்றில் ஆறில் ஒரு பங்கு எடையுள்ள வாயுவால் நிரப்பப்படுகிறது. 3 டன் எடையைத் தூக்க பலூனின் விட்டம் எந்த அளவிற்குப் பெரியதாக இருக்க வேண்டும்? காற்றின் அலகு பருமனெடை = 1·225 கிகிஎ/மீ^{3}.

2·63. a பக்கமுள்ள ஒரு கன சதுரம் (cube) மிதக்கும் நிலையில் நிலைப்பாட்டை விளக்குக.

2·64. ஒரு பொருண்மையை சுருள்வில் தராசில் (spring balance) காற்றில் நிறுத்தால் W எடை காட்டுகிறது. பின் அதை அதன் முன்னைய பருமனில் $\frac{1}{n}$ அளவிற்கு அமுக்கி சிறிதாகப்பட்ட பின்னர் நிறுத்தால், எடை W' காட்டுகிறது. அந்த பொருண்மை வெற்றிடத்தில் என்ன எடை இருக்கும்?

2·65. 400 டன் எடையுள்ள ஒரு நீர்மூழ்கிக் கப்பல் 800 மீ^{3} நீரை இடம் பெயர்க்கிறது. இந்த நீர்மூழ்கிக் கப்பல் மூழ்க எவ்வளவு கன அளவு கடல் நீரை அதனுள் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும்.

2·66. ஒரு சதுரப் பட்டகத்தின் (square prism) நீளமான விளிம்பு கிடையாக இருக்கும்படியும், ஒரு பக்கத்தின் மையக்கோடு நீர்மட்டத்திலுள்ள ஒரு கீலோடும் பொறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. நீரில் மிதக்கும் இப் பட்டகத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி 39/64 ஆக இருக்குமானால், அந்தப் பட்டகத்தின் எதிர் பக்கம் நீரில் $\frac{3}{4}$ பாகம் மூழ்கியிருக்குமென நிரூபி.

2·67. h உயரமுள்ள ஒரு திடக் கூம்பின் உச்சிக் கோணம் $2a$. அதன் அடர்த்தி ρ (>1) ஆனால், நீரில் அதன் உச்சி தலைகீழாக இருக்கும்படி மிதக்கும்போது அது எவ்வளவு மூழ்கியிருக்கும்?

2·68. 4000 டன் எடையுள்ள கப்பல் கடல் நீரில் ($S = 1·035$) 7 மீ. ஆழம் மூழ்கியிருக்கும். 500 டன் சரக்குகளை இறக்கி விட்டபின் அதன் ஆழம் 0·5 மீ குறைகிறது. அந்தக் கப்பல் மேலும் 300 டன் எடைகளை இறக்கி விட்டபின் நல்ல நீர் ஏரியில் அதன் மூழ்கு ஆழம் (draft) எவ்வளவு இருக்கும்?

2·69. ஒரு கப்பல் 3500 டன் எடையுள்ள நீரை இடம் பெயர்க்கிறது. அதன் மேற்தளத்தில் 100 டன் எடை 10 மீ. தூரத்திற்கு இடம் பெயர்க்கப்பட்டால், அந்தக் கப்பல் 3° சாய்கிறது. அதன் மிதவைக் காப்புயரம் என்ன?

2·70. ஒரு உருளை வடிவான மிதவை 1 மீ விட்டம், 4 மீ உயரம் உள்ளது. இது நீரில் செங்குத்தாக மிதக்காது என நிரூபி. இந்த மிதவையின் எடை 1·5 டன் என எடுத்துக்கொண்டு, அந்த மிதவைச் செங்குத்தாக மிதக்க எந்த அளவு விசை அதன் அடிப்பாகத்தில் நேர்குத்தாகச் செயல்பட வேண்டும்?

2·71. ஒரு திறந்த அமைப்புள்ள எஃகுத் தொட்டியை அதன் இருப்பிடத்திற்கு நீரின் வழியாக இழுத்துச் செல்ல வேண்டியிருக்கிறது. அதன் பரப்பு 3·3 மீ × 3·3 மீ ஆகும். அது நீரில் 1·3 மீ. ஆழத்திற்கு மூழ்குகிறது.

அதன் எடைமையம் நீர்மட்டத்திலிருக்குமானல், அந்தத் தொட்டி நிலைப்பாடுடையதா ?

2·72. உலோகத்தினுலான r ஆரம், h உயரம் உள்ள வெறுமையான உருளை (hollow cylinder) நீரில் செங்குத்தாக மிதக்க வேண்டும். அதில் $\frac{h}{r} = 10$. அந்த உருளையின் அடியில் எந்த உயரத்திற்கு 2·25 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள கான்கிரீட் போடப்பட வேண்டும். கான்கிரீட் போட்டபின் அதன் மிதவைக் காப்புயரம் 0·55 ஆக இருக்க வேண்டும்.

2·73. 2000 டன் கடல் நீரை இடம் பெயர்க்கும் ஒரு கப்பலில் 40 டன் எடையை அதன் குறுக்கே 6·5 மீ. நகர்த்துவதால், அது 5° சாய்கிறது. அந்தக் கப்பலின் மிதவைக் காப்புயரம் என்ன ?

3. பாய்ம இயக்கவியல்
(Fluid Kinematics)

3·1. முன்னுரை

எந்திரவியலின் ஒரு பிரிவான இயக்கவியலில் பொருள்களின் இயக்கங்களைப் பற்றி மட்டும் ஆராய்கிறோம். ஆனால் அவ்வியக்கங்களுக்குக் காரணமான விசைகளின் அளவுகளையோ அல்லது அவைகள் தொழிற்படும் திசைகளையோ பற்றி ஆராய்வதில்லை. திட எந்திரவியலில் (solid mechanics) ஒரு பொருளின் இயக்கத்தைப் பற்றி மட்டும் தெளிவாகக் கண்டறிய முடியும். ஆனால் பாய்ம எந்திரவியலிலோ ஒரு துகளைத் தனித்துத் தொடர்ந்து சென்று அதன் இயக்கத்தை அறிதல் சாத்தியமில்லையாதலால், ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் திசைவேக மாறுபாட்டைக் கண்டறிகிறோம். ஒரு பாய்ம ஓட்டத்தில் திசைவேகப் பகிர்வு (velocity distribution) நிர்ணயிக்கப் பட்டபின், அந்தப் புலத்தின் (field) அழுத்தப் பகிர்வை (pressure distribution) கணக்கிட முடியும். இந்த அத்தியாயத்தில் திசைவேகம், முடுக்கம் முதலியவற்றைக் கணக்கிடும் முறைகள் விளக்கப் பட்டுள்ளன.

3·2. திசைவேகப் புலம் (Velocity Field)

பாய்ம இயக்கத்தை (1) லெக்ராஞ்சி முறை (Lagrangian method) (2) ஆய்லர் முறை (Eulerian method) என்ற இரண்டு வழிகளில் படிக்கலாம்.

முதற்கண் லெக்ராஞ்சி முறையை விளக்குவோம். இந்த முறையில் ஒரு பாய்மத் துகளின் திசைவேகம், முடுக்கம், அடர்த்தி முதலியவை அத்துகள் இடம் விட்டு இடம் நகரும்போது எவ்வாறு மாறுகிறது எனக் கண்டறிகிறோம். தேக்காட்டின் அச்சுத் தூர (Cartesian coordinate) முறைப்படி t_0 என்ற நேரத்தில் a, b, c என்ற

அச்சுத் தூரத்தில் ஒரு பாய்மத் துகளின் இருப்பிடம் வெளி இடத்தில் (space) x, y, z ஆக இருக்கட்டும். இப்போது a, b, c, t என்பன சாரா மாறிகளாகவும் (independent variables), x, y, z என்பன சார்ந்த மாறிகளாகவும் (dependent variables) இருக்கின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு பாய்மத் துகளின் திசைவேகம் t என்ற நேரத்தில் u-ஆக இருக்குமானால், $x = a + ut$ ஆகும். இதில் நேரம் சுழியாக இருக்குமானால், அதாவது $t = t_0$ உள்ளபோது, a என்பது x அச்சுத் தூரத்திற்குச் சமமாகும். ஆகவே, அந்தத் துகளின் இடத்தை

$$x = f_1\,(a, b, c, t)$$
$$y = f_2\,(a, b, c, t)$$
$$z = f_3\,(a, b, c, t) \qquad (3\cdot1)$$

என்ற சார்புகளால் (functions) குறிக்கலாம். x, y, z திசைகளில் முறையே திசைவேகங்கள் u, v, w ஆகவும் முடுக்கங்கள் a_x, a_y, a_z ஆகவும் இருக்குமானால்,

$$u = \frac{\partial x}{\partial t} \qquad a_x = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}$$
$$v = \frac{\partial y}{\partial t} \qquad a_y = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$
$$w = \frac{\partial z}{\partial t} \qquad a_z = \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} \qquad (3\cdot2)$$

இந்த முறை திட எந்திரவியலில் திடப் பொருள்களின் இயக்கம் பற்றி விளக்கப் பயன்படுகிறது. திட எந்திரவியலில் ஒரு பொருளைத் திட்டமாகக் குறிப்பிட்டு அதன் இயக்கத்தைப் பின் தொடர முடியுமாதலால் இம்முறை சாத்தியமாகிறது.

லெக்ராஞ்சி முறையைப் பாய்ம எந்திரவியலில் கையாளுதல் கடினம். பாய்மப் புலத்தில் ஒரு துகளை மட்டும் தொடர்ந்து சென்று அதன் பாதையை நிர்ணயித்தல் இயலாது. பாய்மம் தொடர்மம் (continuum) ஆதலால் ஒரு புள்ளியில் எண்ணற்ற துகள்கள் நேரத்திற்கு நேரம் மாறிக்கொண்டே இருக்கும். அத்துகள்கள் நேரத்திற்கு நேரம் திசை வேக மாற்றமுள்ளதாகவும், கொந்தளிப்புத் தன்மையுள்ளதாகவும் இருக்குமாதலால், லெக்ராஞ்சி முறையால் ஒரு துகளின் சிறப்பியல்புகளை (properties) விளக்குதல் எளிதல்ல. ஆதலால் ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் மாறுதல்களை மட்டும் பற்றி விளக்க முயலும் ஆய்லர் முறை (Eulerian method) இந்நூலில் கையாளப்பட்டுள்ளது. இந்த முறையில் ஒரு துகளின் இருப்பிடம் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரம் t-யில் x, y, z என்ற

நிலையான அச்சுத் தூரங்களையுடைய (fixed coordinates) அமைப்பால் விவரிக்கப்படுகிறது. ஆய்லர் திசைவேகப் புலமானது

$$u = F_1 (x, y, z, t)$$
$$v = F_2 (x, y, z, t)$$
$$w = F_3 (x, y, z, t) \qquad (3{\cdot}3)$$

ஆய்லர் முறைக்கும், லெக்ராஞ்சி முறைக்குமுள்ள தொடர்புகளைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் விளக்கலாம்.

$$\frac{dx}{dt} = u (x, y, z, t)$$

$$\frac{dy}{dt} = v (x, y, z, t)$$

$$\frac{dz}{dt} = w (x, y, z, t) \qquad (3{\cdot}4)$$

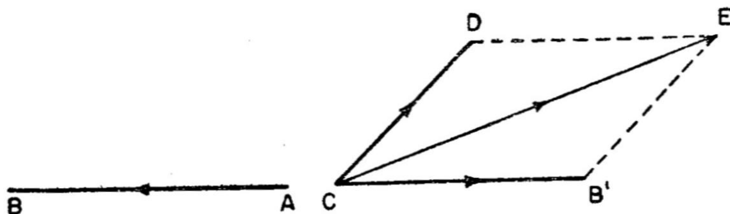
தொடக்க நிலை $x = x_0 = a$, $y = y_0 = b$, $z = z_0 = c$, $t = t_0$ ஆக இருக்கும்போது சமன்பாடுகள் 3·4-ஐத் தொகையிட்டால் லெக்ராஞ்சி சமன்பாடுகளை அடையலாம். ஆகவே, பாய்ம இயக்கத்தை லெக்ராஞ்சி முறையில் விளக்க வேண்டுமானுல், அதை ஆய்லர் முறை வழியாகவும் அடையலாம் எனத் தெரிகிறது.

ஆய்லர் முறை ஆய்வுக்கு எளிதாக இருப்பதால் பழக்கத்தில் அதிகமாகப் பயன்படுகிறது. ஒரு பாய்மப் புலம் முழுவதும் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் பல புள்ளிகளிலுள்ள திசைவேகத்தை ஆய்லர் முறையால் அறியலாம். இருந்தபோதிலும், சில தனிப்பட்ட (special) அமைப்புகளில் அல்லது நிலைமைகளில் லெக்ராஞ்சி முறை கையாளப்படுகிறது.

3·3. ஒப்புத் திசைவேகம் (Relative Velocity)

வேகமாகச் செல்லும் இரயிலில் பிரயாணம் செய்யும்போது, நாம் நிலையாக இருப்பது போன்றும், வெளியில் சிறிது தூரத்திலுள்ள பொருள்கள் நமக்கு எதிர்த் திசையில் வேகமாகச் செல்வது போன்றும் தோன்றுகிறது. அதேபோல் இரண்டு இரயில் வண்டித் தொடர்கள் இணையான பாதைகளில் ஒன்றுக்கொன்று சமீபத்தில் சமவேகத்தில் ஒரே திசையில் செல்லுமானுல், ஒரு வண்டித் தொடரிலிருக்கும் நமக்கு அடுத்த வண்டித் தொடரில் உள்ளவர்கள் நிலையாக இருப்பது போன்று தோற்றமளிக்கிறுர்கள். இவ்வாறு ஒரு திசைவேகத்தை மற்றொரு திசைவேகத்திற்கு ஒப்பிட்டுச் சொல்வதற்கு ஒப்புத் திசைவேகம் எனப் பெயர். ஒப்புத்

திசைவேகமானது ஒரு திசைவேகத்தை மற்றொரு திசைவேகத்தின் எதிர் மதிப்போடு திசையுளி (vector) முறையில் கூட்டுவதற்குச் சமமாகும். படம் 3·1-ல் A, C என்ற புள்ளிகளில் செயற்படும்



படம் 3·1. ஒப்புத் திசைவேகம்

இரண்டு திசைவேகங்களை AB, CD என்ற கோடுகள் முறையே அளவிலும், திசையிலும் குறிக்கின்றன. C என்ற புள்ளியில் CB' என்ற சமமான ஆனால் எதிர்த் திசையில் செயற்படும் AB மதிப்புள்ள வேகம் கூட்டப்பட்டு அதன் தொகுபயன் CE அடையப் படுகிறது. இப்போது CE என்பது, CD என்ற திசைவேகத்திற்கு AB என்ற திசைவேகத்தை ஒப்பிடும்போது ஏற்படும் ஒப்புத் திசைவேகமாகும்.

இந்த ஒப்புத் திசைவேகக் கருத்து மாதிரி அமைப்புகளிலும், சுழலும் எந்திரங்களில் பாய்ச்சல் படிவம் (flow pattern) பற்றி அறியவும், நிலையற்ற தன்மைகளை நிலையான தன்மைக்குக் கொணர்ந்து ஆராயவும் பயன்படுகிறது.

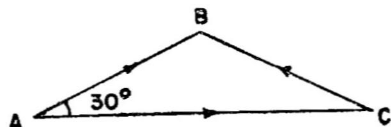
மாதிரிக் கணக்கு 3·1. 1 மீ விட்டமுள்ள டர்பைன் (turbine) சக்கரத்தினுள் 3 மீ/வி. திசைவேகத்தில் நீரானது அதன் விளிம்புத் திசைவேகத்திற்கு (peripheral velocity) 30° சாய்வாக நுழைகிறது. அந்தச் சக்கரத்தின் சுற்றுகள் நிமிடத்திற்கு 100 ஆக இருக்கும்போது அதன் நுழைபாதையில் ஒப்புத் திசைவேகம் என்ன?

$$\text{விளிம்புத் திசைவேகம் } AC = v = \frac{\pi DN}{60} = \frac{\pi \times 1 \times 100}{60}$$

$$= 5{\cdot}24 \text{ மீ/வி}$$

நீரின் திசைவேகம் $AB = 3$ மீ/வி

எனவே, AB-ன் ஒப்புத் திசைவேகமானது, AC-க்கு ஒப்பிடும்போது CB ஆகும். இப்போது படத்திலுள்ளபடி



$$CB^2 = AB^2 + AC^2 - 2AB.\ AC \cos 30^\circ$$

$$CB^2 = 3^2 + 5{\cdot}24^2 - 2 \times 3 \times 5{\cdot}24 \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$CB = 3$ மீ/வி

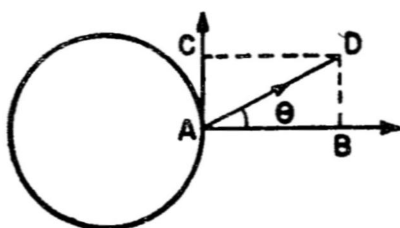
$\theta = 30^\circ$

மாதிரிக் கணக்கு 3·2. ஒரு கிரிக்கெட் பந்து கிடையாக 20 மீ/வி வேகத்தில் எறியப்படுகிறது. அந்தப் பந்தின் முன்னுள்ள காற்றின் வேகம் அந்தப் பந்தின் மேற்பரப்பின் வேகத்திற்குச் சமமாக இருப்பதாகக் கொண்டு, அப்பந்து நிமிடத்திற்கு 20 முறை பின்சுற்று (back spin) உள்ளதாக இருக்கும்போது அப்பந்தின் முன்னுள்ள காற்றின் ஒப்புத் திசைவேகத்தின் அளவையும், திசையையும் காண். கிரிக்கெட் பந்தின் விட்டம் 70 மிமீ.

பந்தின் திசைவேகம் $AB = 20$ மீ/வி

பின் சுற்றுல் பந்தின் திசைவேகம் $AC = \dfrac{\pi \times 0{\cdot}07 \times 20}{60}$

$= 44$ மீ/வி



தொகுபயன் திசைவேகம்

$$AD = \sqrt{20^2 + 4{\cdot}4^2}$$

$$= 20{\cdot}5 \text{ மீ/வி}$$

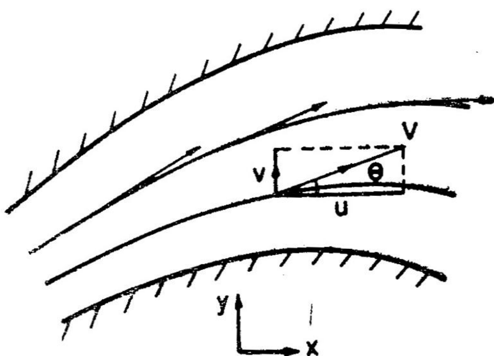
காற்றின் திசை

$$\theta = \tan^{-1}\frac{4{\cdot}4}{20} = 12{\cdot}4^\circ$$

3·4. இழைக் கோடு, பாதைக் கோடு, கீற்றுக் கோடு (Stream Line Path Line, Streak Line)

பாய்ம ஓட்டப் புலத்திலுள்ள ஒரு கற்பனைக் கோட்டில் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் வரையப்படும் தொடுகோடானது அந்தப் புள்ளியில் அப்புலத்திலுள்ள திசைவேகத்தை எந்த ஒரு நொடியிலும் குறிக்குமானால், அக்கற்பனைக் கோட்டிற்கு இழைக் கோடு எனப் பெயர். இந்தக் கோடுகள் அப் பாய்ச்சல் புலத்திலுள்ள திசை வேகத்தின் சராசரி அமைப்பைப் படத்தின் மூலம் விளக்குகிறது. எண்ணற்ற இழைக் கோடுகளை ஒரு பாய்ச்சல் புலத்திற்கு வரைய முடியுமானாலும், அடுத்தடுத்துள்ள இரண்டு இழைக் கோடுகளுக் கிடையேயுள்ள பாயுவிதம்(discharge) ஒரே அளவாக இருக்கும்படி கோடுகள் வரைவது வழக்கத்திலிருக்கிறது. ஒரு விரியும் எல்லை களையுடைய (diverging boundaries) அமைப்பில் எவ்வாறு இழைக் கோடுகள் இருக்கும் என்பதை படம் 3·2 காட்டுகிறது. அந்தக்

கோட்டில் எந்தப் புள்ளியிலுமுள்ள தொடுகோடும் அந்தப் புள்ளியிலுள்ள திசைவேகத்தின் திசையிலிருப்பதால், அக்கோட்டிற்கு நேர்குத்தாக திசைவேகக் கூறுஇருக்காது. ஆகவே, இழைக் கோட்டிற்கு நேர்குத்தாகப் பாய்மம் பாய்வதில்லை. எங்கெல்லாம் எல்லையானது படிப்படியாக மாறுகிறதோ அங்கெல்லாம் படத்திலுள்ளபடி எல்லையே இழைக்கோடாக இருக்கும். பாய்மம், இழைக்கோட்டைக் கடப்பதில்லையாதலால் இரண்டு இழைக் கோடுகளுக்கும் இடையேயுள்ள பாயுவிதம் ஒரு பாய்ச்சல் புலத்தில் மாறுவதில்லை. பாய்மத்தின் திசைவேகம் இழைக் கோடுகளுக்கிடையேயுள்ள தூரத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கும். மேலும், எந்த இரண்டு இழைக் கோடுகளும் ஒன்றையொன்று விசித்திரப் புள்ளியில் (singularity) தவிர மற்ற எந்த இடத்திலும் சந்திப்பதில்லை.



படம் 3·2. இழைக் கோடுகள்

$P(x,y)$ என்ற புள்ளியிலுள்ள V என்ற திசைவேகத்தின் x-, y-திசைகளில் முறையே u, v என்ற கூறுகளை எடுத்துக்கொள்வோம். V என்ற திசைவேகம் x திசைக்கு θ என்ற கோண அளவு சாய்ந்திருக்குமானல்,

$$\frac{dy}{dx} = \tan\theta = \frac{v}{u}$$

இதில் dx, dy என்பன P என்ற புள்ளி இழைக் கோட்டில் ds என்ற தூரம் நகர்வதால் ஏற்படும் வகையீட்டுக்குரிய இடம்பெயர்வு(differential displacements)களாகும். ஆகவே, இருபரிமாண அமைப்பில் (two-dimensional) இழைக் கோட்டின் சமன்பாடானது,

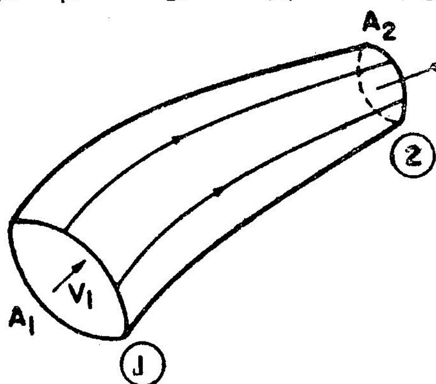
$$\frac{dx}{u(x, y, t_o)} = \frac{dy}{v(x, y, t_o)} \qquad (3{\cdot}5 \text{ அ})$$

முப்பரிமாணத்தில்,

$$\frac{dx}{u(x, y, z, t_o)} = \frac{dy}{v(x, y, z, t_o)} = \frac{dz}{w(x, y, z, t_o)} \qquad (3{\cdot}5 \text{ ஆ})$$

நிலையான அமைப்புகளில் இரண்டு இழைக் கோடுகளுக்கும் இடையே பாயும் பாய்மத்தின் வீதம் நேரத்தால் மாறுபட்டாலும், அவற்றின் இடைத் தூரம் வேறுபடவேண்டிய அவசியமில்லை.

இழைக் கோடுகள் பற்றிய இக்கருத்துகள் இழைப் பரப்பிற்கும் (stream surface), இழைக் குழாய்களுக்கும் (stream tubes) பொருந்தும். இரு பரிமாண அமைப்பில் இழைக் கோடுகள் ஒன்றுக் கொன்று பக்கத்தில் வைக்கப்பட்டு இழைப் பரப்பு உண்டாக்கப் படுகிறது. அதேபோல் ஒரு அச்சைச்சுற்றி ஒரே மாதிரியாக உள்ள அமைப்புகளில் ஒரு குழாய் போன்ற அமைப்பை இழைக் கோடுகள் ஒன்றையொன்று பக்கத்தில் வைத்து உண்டாக்கலாம். இந்த மாதிரியான அமைப்பு படம் 3·3-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. ஒரு பாய்மக் கடத்தியில் (conduit) பாயும் பாய்மமானது எவ்வாறு கடத்தியின் முடிவின் வழியாகத்தான் வெளி வர முடியுமோ அவ்வாறே இழைக் குழாயின் வழியாகப் பாயும் பாய்மம் குழாயின் முடிவின் வழியாகத் தான் வெளிவர முடியும்; இழைக் குழாயின் பக்கங்களை ஊடுருவிப் பாய முடியாது.



படம் 3·3. இழைக் குழாய்

ஒரு பாய்மத் துகள் பாய்ச்சல் புலத்தில் ஒரு கால அளவில் அது செல்லும் பாதைக்குப் பாதைக் கோடு (path line) எனப் பெயர். ஒரு இழைக் கோடு காலத்தால் அதன் அமைப்பையும், இடத்தையும் மாற்றுமலிருந்தால் பாதைக் கோடும் இழைக் கோடும் ஒன்றுகும்.

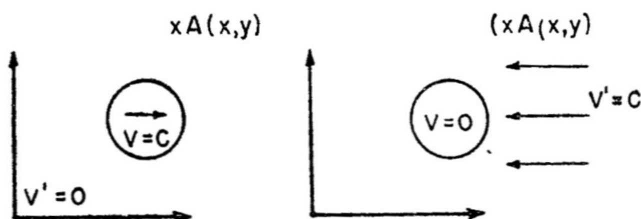
பாய்ச்சல் புலத்தில் ஒரு புள்ளியிலிருந்து தொடர்ச்சியாக வெளிப்படும் பாய்மத் துகள்கள் ஒரு கால அளவில் வெளியில் உண்டாக்கும் கோட்டிற்குக் கீற்றுக் கோடு (streak line) எனப்பெயர். ஒரு புகைப் போக்கியிலிருந்து வரும் துகள்களால் உண்டாகும் புகைக் கோடு இதற்கு ஒரு நல்ல எடுத்துக்காட்டாகும்.

ஒரு நிலையான, சீரான ஓட்டத்தில் இந்த மூன்று வகைக் கோடுகளும் ஒன்றுக இருக்கும். ஆனுல் நிலையற்ற ஓட்டத்தில் (பகுதி 3·19) இக்கோடுகள் ஒவ்வொன்றும் வேறு வேருக இருக்கும்.

3·5. பாய்ம ஓட்டத்தின் பாகுபாடுகள்

பாய்ச்சல் புலத்தில் பாய்மத்தின் திசைவேகம், அழுத்தம், அடர்த்தி முதலியன இடத்திற்கு இடம், அல்லது நேரத்திற்கு நேரம் அல்லது இடத்தாலும் நேரத்தாலும் வேறுபடும். இப் போது திசைவேக அடிப்படையில் பாய்ம ஓட்டத்தைப் பாகு படுத்துவோம்.

பாய்ம ஓட்டத்தில் அதன் பண்புகள் நேரத்தால் மாறு விட்டால் அந்த ஓட்டத்தை நிலையான (steady) ஓட்டம் என் கிறோம். ஆனால் பாய்மத்தின் பண்புகளில் ஏதாவது ஒன்று நேரத் திற்கு நேரம் மாறுபடுமானால் அந்த ஓட்டத்தை நிலையற்ற ஓட்டம் (unsteady flow) என்கிறோம். அசையாது இருக்கும் பாய்ம ஊட கத்தில் (fluid medium) A என்ற புள்ளியின் அருகில் ஒரு கோளம் (sphere) நிலையான வேகத்தில் செல்வதால், அந்தப் புள்ளியில் நேரத்திற்கு நேரம் கோளத்தின் இடத்தைப் பொறுத்துத் திசை வேகம் மாறுபடும். இவ்வாறு A என்ற புள்ளியில் திசைவேகம்

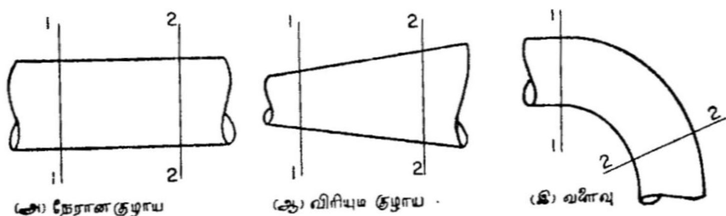


(அ) சலனமற்ற பாய்மத்தில் கோளம் செல்லுதல் (ஆ) நிலையான கோளத்தைச் சுற்றி பாய்மம் செல்லுதல்

படம் 3·4 நிலையான, நிலையற்ற ஓட்டங்கள்

மாறுவதற்கு நிலையற்ற தன்மை (படம் 3·4) எனப் பெயர். A என்ற புள்ளியில் திசைவேகமானது நிலையானதாக இருக்கும்படி செய்வ தற்கு அந்தக் கோளத்தை இடம் பெயராது இருக்கச் செய்து அந்த ஊடகத்தைக் கோளம் சென்ற வேகத்தில் அக்கோளத்தை நோக்கிச் செலுத்த வேண்டும். அப்போது A என்ற புள்ளியில் திசைவேகம் மாறாது. இப்போது A என்ற புள்ளியில் திசைவேகம் நிலையான தன்மையுடைத்து எனக் கருதப்படுகிறது. இந்த இரண்டு நிலை களிலும் அந்தக் கோளத்தில் ஏற்படும் விளைவுகள் ஒரே தன்மை யுடையதாக இருக்கும். இவ்வாறு ஒப்புத் திசைவேகக் கருத்தைப் பயன்படுத்தி நிலையற்ற தன்மையை நிலையுள்ளதாக்க முடியும். நிலையான தன்மையில் அழுத்தம் திசைவேகப் பகிர்வு முதலிய பற்றி ஆய்வதற்கு எளிதாக இருக்கும்.

ஒரு பாய்ச்சல் புலத்தின் பல இடங்களில் திசைவேகத்தின் மதிப்பு, அந்தப் புலத்தின் எல்லைகளைப் பொறுத்தது. படம் 3·5(அ)-ல் உள்ள சீரான விட்டமுள்ள குழாயை எடுத்துக் கொள்வோம். இக்குழாயில் பாயுவீதம் மாறாவிட்டால் 11, 22 என்ற



படம் 3·5. சீரான, சீரற்ற ஓட்டங்கள்

வெட்டு முகங்களில் திசைவேகங்களின் மதிப்பு ஒரே அளவினதாக இருக்கும். படம் 3·5 (ஆ)-ல் உள்ள விரிந்துள்ள குழாயில் 11, 22 என்ற வெட்டு முகங்களில், பாயுவீதம் மாறாவிட்டாலும், திசை வேகங்கள் வேறுபடும். படம் 3·5 (இ)-ல் உள்ள வளைவில் (bend) 11, 22 என்ற வெட்டு முகங்களில் மாறாத பாயுவீதத்திற்கு திசை வேகங்களில் மதிப்பு ஒரே அளவினதாக இருந்தபோதிலும், அவற்றின் திசைகள் வேறுபடுகின்றன. எனவே, ஒரு இழைக் கோட்டில் இரண்டு வெவ்வேறு புள்ளிகளில் திசைவேகமானது அளவிலும், திசையிலும் ஒரேமாதிரியாக இருக்குமானால், அந்தப் பாய்ம ஓட்டத்தைச் சீரான ஓட்டம் (uniform flow) என்கிறோம். ஆனால் திசைவேகம் அதன் அளவிலோ அல்லது திசையிலோ மாறுபடுமானால் அந்தப் பாய்ம ஓட்டத்தைச் சீரற்ற ஓட்டம் (non-uniform flow) என்கிறோம்.

படம் 3·5 (ஆ)-ல் உள்ள விரிந்த குழாயில் பாயுவீதம் மாறாவிட்டாலும், திசைவேகம் மாறுபடுவதால் அந்த ஓட்டமானது சீரற்றதாகும். படம் 3·5 (இ)-ல் ஒரு குறிப்பிட்ட பாயுவீதத்திற்கு திசைவேகத்தின் மதிப்பு இடத்திற்கு இடம் மாறாவிட்டாலும், திசைவேகத்தின் திசை இடத்திற்கு இடம் மாறுபடுவதால், வளைவில் ஏற்படும் ஓட்டமும் சீரற்றதாகும்.

குறிப்பிட்ட பாயுவீதம் காலத்தால் மாறாதிருந்தாலும், முடுக்கமோ அல்லது எதிர் முடுக்கமோ (decceleration) முறையே குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு குறைவதாலோ அல்லது கூடுவதாலோ ஏற்படக் கூடும். இப்படிப்பட்ட திசைவேக மாறுபாட்டால் ஏற்படும் முடுக்கத்திற்குச் சலன முடுக்கம் (convective acceleration)

எனப் பெயர். பாயுவீத மாறுபாட்டால் ஒரு புள்ளியில் காலத்தால் திசைவேக மாறுபாடு நிகழ்வதற்கு இடஞ்சார்ந்த முடுக்கம் (local acceleration) எனப் பெயர். இவை பற்றி பகுப்பாய்வு முறை மூலம் பின்னொரு பகுதியில் விளக்கமாகப் படிப்போம்.

பாய்ம ஓட்டத்தைக் கீழ்க்கண்ட நான்கு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம்.

(அ) நிலையான சீரான ஓட்டம்—ஒரு மாறாத விட்டமுள்ள குழாயின் வழியாகப் பாயும் பாய்மத்தின் பாயுவீதம் மாறாமலிருத்தலால் ஏற்படும் நிலைமை.

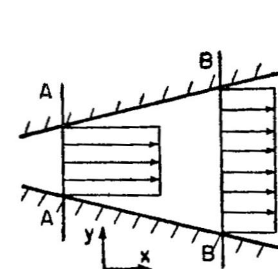
(ஆ) நிலையான சீரற்ற ஓட்டம்—ஒரு மாறும் விட்டமுள்ள அமைப்பில் பாயுவீதம் மாறாமலிருந்தால் ஏற்படும் நிலைமை.

(இ) நிலையற்ற சீரான ஓட்டம்—ஒரு மாறாத விட்டமுள்ள குழாயில் பாயுவீதம் காலத்தால் மாறுவதால் ஏற்படும் நிலைமை.

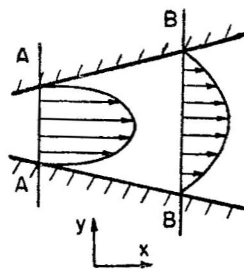
(ஈ) நிலையற்ற சீரற்ற ஓட்டம்—ஒரு மாறும் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள அமைப்பில் பாயுவீதம் காலத்தால் மாறுவதால் ஏற்படும் நிலைமை.

3·6. ஒரு-, இரு-, முப்பரிமாண ஓட்டங்கள் (One-, Two-, Three-Dimensional Flows)

ஒரு ஓட்டத்தில் ஒரு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் ஏற்படும் அழுத்தம், அடர்த்தி, திசைவேகம் முதலியவற்றின் மாறுதல்களைப் புறக்கணித்து அவ் வெட்டுப் பரப்பிலுள்ள சராசரிக் குணங்களை (characteristics) எடுத்துக் கொண்டால் அதற்கு ஒரு பரிமாண



(அ) ஒரு பரிமாண ஓட்டம்



(ஆ) இரு பரிமாண ஓட்டம்

படம் 3·6. ஒரு, இரு பரிமாண ஓட்டங்கள்

முறை எனப் பெயர். இப்படிப்பட்ட தற்கோளை குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் திசைவேக வேறுபாடு அதிகமாக இல்லாதபோதும்,

குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் அதிக அல்லது திடீர் வேறுபாடுகள் இல்லாதபோதும், பாய்ச்சல் பாதையானது அதிக வளைவுற்றதாக உள்ள போதும் கையாளலாம். கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களில் (turbulent flows) ஒரு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் திசைவேக வேறுபாடு அதிகமாக இராததலால் சராசரித் திசைவேகம் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. ஒரு பரிமாண முறை மூலம் பல பொறியியற் கணக்குகளுக்கு எளிதில் விடை காண இயலுமாதலால் இம் முறை பழக்கத்திலுள்ளது. ஆனால், மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங்களில் பாய்மங்களின் பாகுநிலையாலும், வழுக்காக் கொள்கையாலும் (no slip condition) திசைவேகமானது எல்லையில் சுழியிலிருந்து பாய்ச்சல் புலத்தில் உச்ச மதிப்பை அடைகிறது. படம் 3·6 (ஆ)-ல் x, y என்ற இரண்டு திசைகளிலும் திசைவேகம் மாறுபடுவது காட்டப் பட்டுள்ளது. z-திசையில் திசைவேகம் மாறவில்லை என்று எடுத்துக் கொண்டால் படம் 3·6 (ஆ) இரு பரிமாண ஓட்டத்திற்கு ஒரு எடுத்துக்காட்டாகும். மேலும் ஒரு அகலமான கால்வாய், தகடு இவற்றின் வழி பாயும் பாய்ம ஓட்டங்கள் இரு பரிமாண ஓட்டங்களுக்கு உதாரணங்களாகும்.

இயற்கையில் ஏற்படும் பெரும்பாலான பாய்ம ஓட்டங்கள் முப்பரிமாணமுடையன. x, y, z என்ற மூன்று திசைகளிலும் திசைவேகமானது மாறுபடுவதால் கணித முறையில் இவ்வகை ஓட்டங்களைப் பகுத்தாய்வது கடினம்.

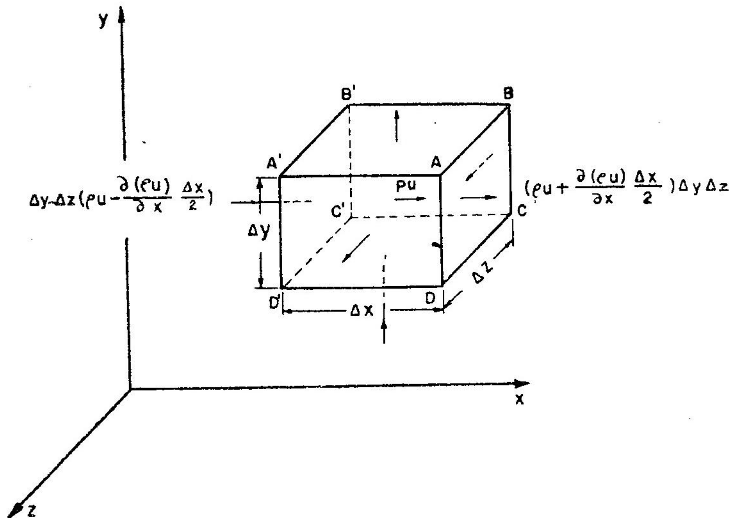
3·7. தொடர்ச் சமன்பாடு (Continuity Equation)

பொருண்மையின் அழிவின்மைக் கொள்கையை கணித முறைப்படி விளக்குவது தொடர்ச் சமன்பாடாகும். படம் 3·3-ல் காட்டப்பட்டுள்ள இழைக் குழாயின் பக்கங்களின் வழியாகப் பாய்மம் உட்செல்லவோ அல்லது வெளிச் செல்லவோ முடியாததால், நிலையான ஓட்டத்தில் வெட்டு முகம் 1-ன் வழியாக உட்செல்லும் பொருண்மை வெட்டு முகம் 2-ன் வழியாக வெளி வந்தாக வேண்டும். ஓட்டத்தை ஒரு பரிமாணமாக இருப்பதாக எடுத்துக் கொண்டு வெட்டு முகம் 1-ல் உள்ள சராசரித் திசைவேகம், அடர்த்தி, பரப்பு முறையே V_1, ρ_1, A_1 ஆகவும் வெட்டுமுகம் 2-ல் V_2, ρ_2, A_2 ஆகவும் இருக்குமானால்,

$$\left.\begin{array}{c}\text{வெட்டு முகம் 1-ன் வழி உட்செல்லும்}\\ \text{பொருண்மை வீதம்}\end{array}\right\} = \rho_1 V_1 A_1$$

$$\left.\begin{array}{c}\text{வெட்டு முகம் 2-ன் வழி வெளிச் செல்லும்}\\ \text{பொருண்மை வீதம்}\end{array}\right\} = \rho_2 V_2 A_2$$

இந்தக் குழாயில் பொருண்மை தோன்றவோ அல்லது அழியவோ இல்லையாதலால்,



படம் 3·7. முப்பரிமாணத் தனிமத்தின் வழிப்பாய்ச்சல்

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

எனவே, பொதுவாகத் தொடர்ச் சமன்பாடானது

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 = \; ..... = \rho_n V_n A_n \qquad (3·6 \text{ அ})$$

பாய்மமானது அமுக்கமற்றதாஞல்,

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 = ... = V_n A_n \qquad (3·6 \text{ ஆ})$$

இனி முப்பரிமாண தொடர்ச் சமன்பாட்டை கொள்கை அடிப்படையில் வருவிப்போம்.

படம் 3·7-ல் உள்ளபடி Δx, Δy, Δz என்ற பக்கங்களை உடைய ஒரு சிறிய தனிமம் (element) x, y, z என்ற தேக்காட்டின் அச்சுத் தூரத்தில் இருப்பதாக எடுத்துக் கொள்வோம். அந்தத் தனிமத்தின் மத்தியில் அடர்த்தியின் மதிப்பு ρ ஆகவும், x, y, z என்ற திசைகளில் திசைவேகங்களின் மதிப்பு u, v, w ஆகவும் இருக்கட்டும். தொடர் கொள்கையின்படி இந்தத் தனிமத்திலுள்ள பொருண்மையின் அதிகரிப்பு உள்வரும் பொருண்மைக்கும் வெளிச் செல்லும் பொருண்மைக்குமுள்ள வேறுபாட்டிற்குச் சமமாகும். தூரத்தால் ஏற்படும் திசைவேக வேறுபாட்டை எடுத்துக் கொண்டு A'B'C'D'

என்ற பக்கத்தின் வழியாக உட்செல்லும் பொருண்மை வீதமானது

$$\left[\rho u - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}\right] \Delta y \, \Delta z$$

ABCD என்ற பக்கத்தின் வழியாக வெளிச் செல்லும் பொருண்மை வீதமானது

$$\left[\rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{\Delta x}{2}\right] \Delta y \, \Delta z$$

ஆகவே, இந்தப் பக்கங்களின் வழியாகச் செல்லும் பொருண்மை வீத வேறுபாட்டால், அந்தத் தனிமத்தினுள் அதிகப்படும் பொருண்மை வீதமானது,

$$-\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \Delta x \, \Delta y \, \Delta z$$

இதேபோல் மற்ற இரண்டு எதிர்ப் பக்கங்களின் வழியாக உட்செல்லும் பொருண்மை வீதம்

$$-\frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \Delta x \, \Delta y \, \Delta z$$

$$-\frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \Delta x \, \Delta y \, \Delta z$$

ஆகவே, தனிமத்தில் அதிகரிக்கும் பொருண்மை வீதமானது

$$-\left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z}\right] \Delta x \, \Delta y \, \Delta z$$

ஒரு அலகு நேரத்தில் அந்தத் தனிமத்தில் ஏற்படும் பொருண்மை மாறுபாடானது

$$+\frac{\partial(\rho \, \Delta x \, \Delta y \, \Delta z)}{\partial t}$$

பொருண்மையின் அழியாக் கொள்கையின்படி, இத்தனிமத்தினுள் வெளியிலிருந்து உட்புகும் பொருண்மையின் வீதம், அந்தத் தனிமத்தின் பொருண்மை அதிகரிக்கும் வீதத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். எனவே,

$$-\left[\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z}\right] \Delta x \, \Delta y \, \Delta z$$

$$= \frac{\partial(\rho \, \Delta x \, \Delta y \, \Delta z)}{\partial t}$$

$\Delta x \Delta y \Delta z$ என்ற கனஅளவு சுழிக்குச் சுருங்குமானால், தேக்காட்டின் அச்சுத் தூர முறையில் முப்பரிமாண தொடர்ச் சமன்பாடானது,

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w)}{\partial z}=-\frac{\partial \rho}{\partial t} \qquad (3\cdot7அ)$$

நிலையான ஓட்டத்தில்,

$$\frac{(\partial \rho u)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho w)}{\partial z}=0 \qquad (3\cdot7ஆ)$$

நிலையான, அமுக்கமற்ற ஓட்டத்தில்,

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \qquad (3\cdot7இ)$$

நிலையான, அமுக்கமற்ற, இரு பரிமாண ஓட்டத்தில்,

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \qquad (3\cdot8)$$

மாதிரிக் கணக்கு 3·3. $u = ax$ ஆக இருக்கும்போது ஒரு இரு பரிமாணப் பாய்ச்சல் புலத்தில் v-ன் மதிப்பு என்ன ?

பாய்ம ஓட்டம் நிகழுமானால் தொடர்ச் சமன்பாடு செல்லுபடியாகும்.

$$u=ax \text{ ஆதலால் } \frac{\partial u}{\partial x}=a$$

தொடர்ச் சமன்பாடு 3·8-லிருந்து,

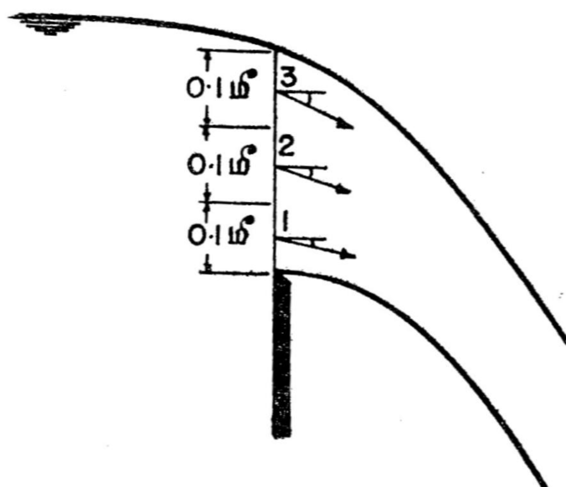
$$\frac{\partial v}{\partial y}=-a$$

$$\therefore\ v=-\int a\,dy=-ay+f_1(x)$$

$$v=-ay+f_1(x)$$

மாதிரிக் கணக்கு 3·4. படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள ஒரு சிற்றணையில் (weir) பிட்டாட்மானியால் 1, 2, 3 என்ற இடங்களில் முறையே 3·5 மீ/வி, 3·2 மீ/வி, 3·0 மீ/வி என்ற திசைவேகங்கள் கிடைத்தளத்திற்கு 4°, 8°, 12° சாய்வாக இருப்பதாக அளக்கப்பட்டிருக்கின்றன. ஒரு மீட்டர் நீளத்திற்கு அந்த சிற்றணை வழிப் பாயும் நீரின் வீதத்தைக் காண்.

பாயுவீதமானது பரப்பு, அந்தப் பரப்பிற்கு நேர்குத்தாக உள்ள திசைவேகத்தின் கூறு இவற்றின் பெருக்குத் தொகைக்குச் சமம்.



புள்ளி 3-ல் பரப்பிற்கு நேர்குத்தாக

திசை வேகத்தின் கூறு $= 3{\cdot}5 \cos 12°$
$= 3{\cdot}5 \times 0{\cdot}978$
$= 3{\cdot}42$ மீ/வி

அதேபோல் புள்ளி 2-ல் $= 3{\cdot}2 \cos 8°$
$= 3{\cdot}2 \times 0{\cdot}99$
$= 3{\cdot}17$ மீ/வி

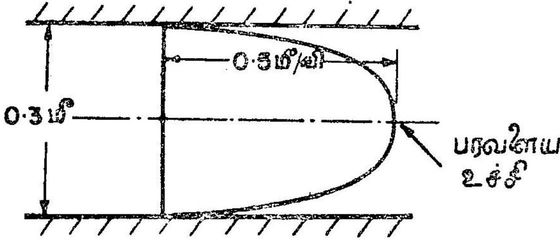
புள்ளி 3-ல் $= 3 \cos 4°$
$= 3 \times 0{\cdot}998$
$= 2{\cdot}99$ மீ/வி

எனவே, ஒரு மீட்டர் நீளத்தில் பாயுவீதமானது,

$$Q = 1 \times (3{\cdot}42 \times 0{\cdot}1 + 3{\cdot}17 \times 0{\cdot}1 + 2{\cdot}99 \times 0{\cdot}1)$$
$$= 0{\cdot}958 \text{ மீ}^3/\text{வி}.$$

மாதிரிக் கணக்கு 3·5. 0·3 மீ. இடைவெளியுடைய இரண்டு இணைத் தளங்களுக்கிடையே திசைவேகப் பகிர்வு பரவளைவு (parabola) அமைப்புடையதாக இருக்கிறது. அவ்விடைவெளியின்

மத்தியில் உச்ச திசைவேகத்தின் மதிப்பு 0·5 மீ/வி ஆக இருக்கிறது. ஒரு அலகு அகலத்தில் ஏற்படும் பாயுவீதம் என்ன?

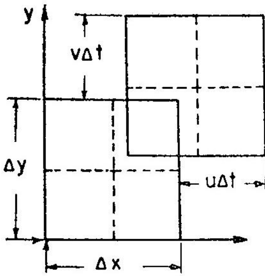


சராசரித் திசைவேகம் $= \frac{2}{3} \times 0{\cdot}5 = \frac{1}{3}$ மீ/வி.

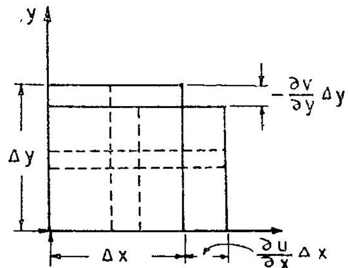
1 மீ அகலத்தில் பாயுவிதம் $= 0{\cdot}3 \times 1 \times \frac{1}{3} = 0{\cdot}1$ மீ^{3}/வி.

3·8. இயக்க வகைகள் (Types of Motion)

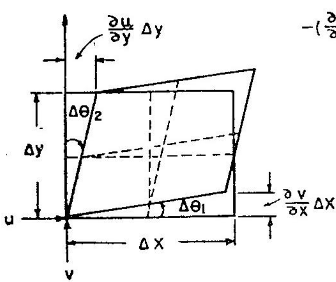
ஒரு பாய்மத் தனிமமானது பாய்ச்சல் புலத்தின் வழியாகச் செல்லும்போது கீழ்க்கண்ட ஒன்று அல்லது மேற்பட்ட வகை இயக்கங்களுக்குள்ளாகிறது: (1) நேர்ப் பெயர்ச்சி (translation), (2) நேர் வடிவ மாற்றம் (linear deformation), (3) கோண வடிவ மாற்றம் (angular deformation), (4) சுழற்சி (rotation).



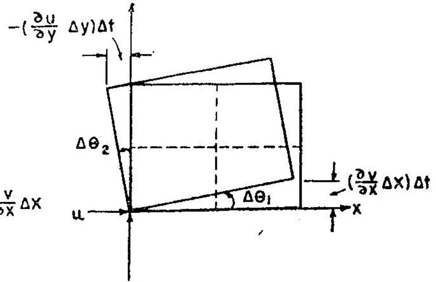
(அ) நேர்ப்பெயர்ச்சி



(ஆ) நேர் வடிவமாற்றம்



(இ) கோண வடிவமாற்றம



(ஈ) சுழற்சி

படம் 3·8. இயக்கத்தின் வகைகள்

ஒரு பாய்மத் தனிமமானது உருமாருமல் ஒரு இடத்திலிருந்து மற்ெருரு இடத்திற்கு அதன் நடுக்கோடுகளின் நீளம் மாருமல் அதன் புதிய அமைப்பானது பழைய அமைப்பிற்கு இணையாக இருக்கும்படி நகருமானுல் அதற்கு நேர்ப் பெயர்ச்சி எனப் பெயர். இப்படி இடம் மாறும்போது நடுக் கோடுகளின் நீளங்கள் மட்டும் மாறுமானுல் நேர் வடிவமாற்றம் எனப் பெயர். இந்த அமைப்பு படம் 3·8 (ஆ)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இரு பரிமாண பாய்மத் தனிமத்தில் நேர் வடிவமாற்றத்தால் அதன் இரு பக்க நீளங்களும் மாறுகின்றன.

தனிமத்தின் இரு அடுத்துள்ள (adjacent) பக்கங்களின் இடைக் கோணம் படம் 3·8 (இ)-ல் உள்ளபடி மாறுமானுல் அதற்குக் கோண வடிவமாற்றம் எனப் பெயர். இரண்டு அடுத்துள்ள பக்கங்களின் சராசரிக் கோண மாற்றம் கோண வடிவமாற்றத்தின் அளவாகக் கருதப்படுகிறது. படத்திலிருந்து,

$$\theta_1 = \frac{\partial v}{\partial x}\frac{\triangle x}{\triangle x} = \frac{\partial v}{\partial x}$$

$$\theta_2 = \frac{\partial u}{\partial y}\frac{\triangle y}{\triangle y} = \frac{\partial u}{\partial y}$$

மொத்தக் கோண மாற்றம் $= \theta_1 + \theta_2 = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$

எனவே, இரு பரிமாண அமைப்பில் கோணமாற்றமானது

$$= \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}\right)$$

படம் 3·8 (ஈ), ஒரு பாய்மத் தனிமத்தின் சுழற்சியை விளக்கு கிறது. இந்தக் காகிதத்திற்கு O வழியாக நேர்குத்தாக உள்ள z-அச்சில் பாய்மத் தனிமமானது முழுவதும் சுழற்சி அடைகிறது. இந்தப் படத்தில் சுழற்சியால் ஏற்படும் விளைவு மட்டுமே காட்டப் பட்டுள்ளது. OA, OB என்ற இரண்டு பக்கங்களின் கோணத் திசைவேகங்களின் கூட்டுத் தொகையின் சராசரியே அத்தனி மத்தின் நிகரச் சுழற்சியாகும். மெய்ப் பாய்ம இயக்கங்களில் இந்தச் சுழற்சி ஏற்படுவதால், இந்த வகை இயக்கமானது மிக முக்கிய மானது. ஒரு இரு பரிமாணத் தனிமத்தில் ஏற்படும் சுழற்சியின் மதிப்பை இப்போது வருவிப்போம்.

OA என்ற பக்கத்தின் கோணத் திசைவேகம்,

$$\omega_{OA} = \underset{\Delta t \to o}{\text{எல்லை}} \frac{\Delta \theta_1}{\Delta t} = \underset{\Delta t \to o}{\text{எல்லை}} \frac{\frac{\partial v}{\partial x} \Delta x \Delta t}{\Delta x . \Delta t} = \frac{\partial v}{\partial x}$$

OB என்ற பக்கத்தின் கோணத் திசைவேகம்,

$$\omega_{OB} = \underset{\Delta t \to o}{\text{எல்லை}} \frac{\Delta \theta_2}{\Delta t} = \underset{\Delta t \to o}{\text{எல்லை}} \frac{-\frac{\partial u}{\partial y} \Delta y \Delta t}{\Delta y \Delta t} = -\frac{\partial u}{\partial y}$$

சராசரி கோணத் திசைவேகம் $\omega_z = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right)$ (3·10)

மேலே உள்ள சமன்பாடு z-அச்சைச் சுற்றி உண்டாகும் சுழற்சியைத் தருகிறது. சுழற்சியின் இரு மடங்கு மதிப்பிற்குச் சுழற்தன்மை (vorticity) எனப் பெயர். சுழற்சியற்ற ஓட்டத்தில் சுழற்சியின் மதிப்புச் சுழியாக இருக்கும். ஆகவே,

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial y}$$

முப்பரிமாணப் பாய்ச்சலில் கீழேயுள்ள மூன்று சமன்பாடுகளும் x-, y-, z-அச்சுக்களைச் சுற்றி உண்டாகும் சுழற் தன்மைகளைக் குறிக்கும் சுழற்சியற்ற நிலைமைக்கு அவற்றின் மதிப்புகள் தனித் தனியே சுழியாக வேண்டும்.

$$\xi = 2\omega_x = \frac{\partial w}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial z} = 0$$

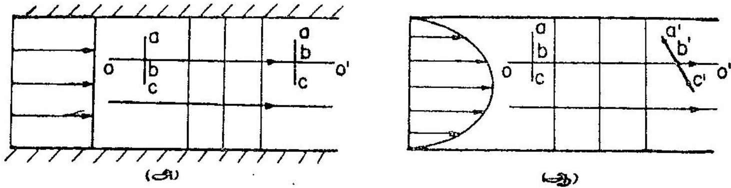
$$\eta = 2\omega_y = \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{\partial w}{\partial x} = 0$$

$$\zeta = 2\omega_z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \qquad (3·11)$$

3·9. சுழற்சியற்ற, சுழற்சியுள்ள ஓட்டங்கள் (Irrotational and Rotational Flows)

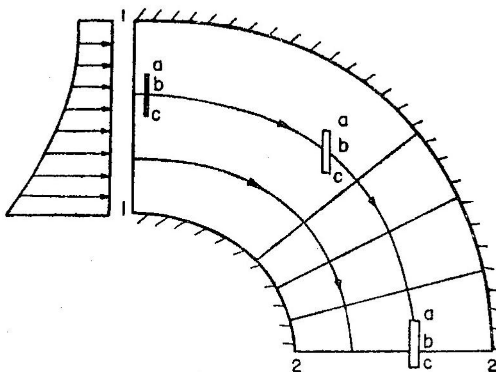
சுழற்சியற்ற, சுழற்சியுள்ள ஓட்டங்களை சில எடுத்துக்காட்டுகளால் விளக்குவோம். இரண்டு இணைத் தளங்களுக்கு இடையே படம் 3·9 (அ)-ல் காட்டியுள்ளபடி ஒரு பாகுநிலையற்ற பாய்மம் பாய்வதாக எடுத்துக் கொள்வோம். இதில் திசைவேகப் பகிர்வு சீராக இருக்கும்; ஆகவே, இழைக் கோடுகளுக்கு இடையேயுள்ள தூரங்கள் சமமாக இருக்கும். OO′ என்ற இழைக்கோட்டிற்கு நேர்குத்தாக a b c என்ற சிறிய துரும்பு விடப்படுமானால், அது

தன் திசை அமைப்பை (orientation) அந்த இழைக் கோட்டில் செல்லும் போது மாற்றிக் கொள்வதில்லை. b வழியாகக் காகிதத்திற்கு நேர்குத்தாக உள்ள அச்சில் அது எந்தவிதமான சுழற்சிக்கும் உட்படுவதில்லை. ஆகவே, இந்தப் பாய்ச்சலானது சுழற்சியற்றது எனத் தெரிகிறது.



படம் 3·9. சுழற்சியற்ற, சுழற்சியுள்ள ஓட்டங்கள்

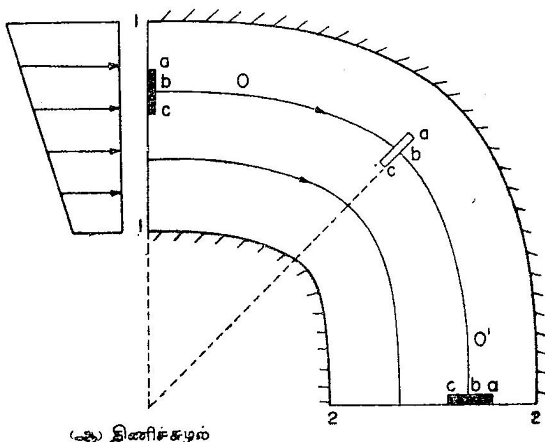
படம் 3·9(ஆ)-ல் இரு பரிமாண மெய்ப் பாய்ம ஓட்டம் காட்டப்பட்டுள்ளது. பாய்மத்தின் பாகுநிலைத் தன்மையாலும் எல்லைகளில் திசைவேகம் சுழியாக இருக்க வேண்டுமாதலாலும், திசைவேகப் பகிர்வு சீராக இருப்பதில்லை. இழைக் கோடுகளுக்கு இடையேயுள்ள இடைவெளியின் தூரம் திசைவேகத்தின் மதிப்பிற்கு எதிர் விகிதத்தில் இருக்கும். OO′ என்ற இழைக் கோட்டிற்கு நேர்குத்தாக abc என்ற துரும்பை அந்த ஓட்டத்தில் இட்டால், அது கொஞ்ச தூரம் சென்ற பின் ஒரு சாய்ந்த நிலையைப் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி அடையும். a என்ற முனையை விட c என்ற முனை வேகமாகச் செல்வதால் இந்தச் சாய்வு ஏற்படுகிறது. இதிலிருந்து அந்தத் துரும்பு b என்ற புள்ளியில் சுழல்கிறது எனத் தெரிகிறது. ஆகவே, இந்தப் பாய்ச்சலானது சுழற்சியுள்ளதாகும்.



படம் 3·10. சுழற்சியற்ற, சுழற்சியுள்ள சுழல்கள்

சுழற்சியற்ற, சுழற்சியுள்ள ஓட்டங்களை விளக்க மற்றுமொரு எடுத்துக் காட்டைப் பற்றிப் படிப்போம். படம் 3·10 (அ)-ல் உள்ள கட்டற்ற சுழலில் (free vortex) தொடு கோட்டுத் திசைவேகம் (tangential velocity) ஆரத் தூரத்திற்கு எதிர் விகிதத்

திலுள்ளது. இந்தத் திசைவேகப் புலத்தில் OO′ என்ற இழைக் கோட்டிற்கு நேர்குத்தாக abc என்ற துரும்பை இட்டால், அந்தப் புலத்தில் பல இடங்களில் அத் துரும்பு எப்படி இருக்கும் என்று



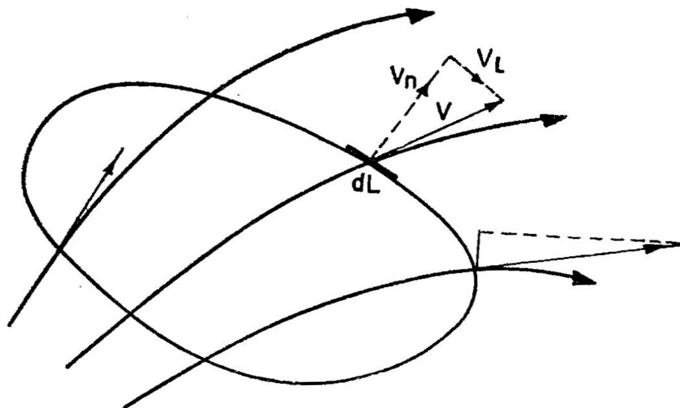
படம் 3·10. சுழற்சியற்ற, சுழற்சியுள்ள சுழல்கள்

காட்டப்பட்டுள்ளது. c என்ற முனை a என்ற முனையைவிட வேக மாகச் சென்றாலும், அந்தத் துரும்பின் திசை அமைப்பு அக் கட்டற்ற சுழலின் மத்திக்கு திசை அமைப்பில் மாறவில்லை என்பது தெளிவு. ஆகவே, கட்டற்ற சுழலில் பாய்ம ஓட்டம் சுழற்சியற்றது எனத் தெரிகிறது. ஆனால் படம் 3·10 (ஆ)-ல் காட்டப்பட்டுள்ள திணிச்சுழலில் (forced vortex) தொடு கோட்டுத் திசைவேகம் ஆர தூரத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கிறது. abc என்ற துரும்பு புலத்தில் OO′ என்ற இழைக் கோட்டில் செல்லும்போது எப்போதும் ஆரத் திசையிலேயே (radial direction) இருக்கும். ஆகவே, அந்தச் சுழலின் மையத்திற்கு இத் துரும்பு திசை அமைப் பில் மாறுகிறது எனத் தெரிகிறது. எனவே, திணிச்சுழல் பாய்ச்சல் சுழற்சியுள்ளது.

3·10. சர்க்குலேஷன் (Circulation)

ஒரு மூடிய (closed) பாதையைச் சுற்றி உண்டாகும் பாய்ச்ச லின் தன்மையை விளக்க சர்க்குலேஷன் பயன்படுகிறது. இதற்கும் சுழற்தன்மைக்கும் (vorticity) நெருங்கிய தொடர்பு உள்ளது. ஒரு பாய்மப் புலத்திலுள்ள மூடிய பாதையில் படம் 3·11-ல் உள்ள படி dL என்ற சிறிய நீளத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். அந்தச் சிறிய நீளத்திற்கு நேர்குத்தாக V_n என்ற திசைவேகக் கூறு தொழிற்படுகிறது. V_L என்ற திசைவேகக் கூறு தொடுகோட்டுத்

திசையில் தொழிற்படுகிறது. இந்த மூடிய பாதைக்குக் குறுக்கே பாயும் பாய்மத்தின் பாயுவீதம் $\int V_n dL$ ஆகும். அதே போல் அந்த மூடிய பாதையின் வழி இடஞ்சுழியாக $\int V_L dL$ என்ற



படம் 3·11. ஒரு மூடிய பாதையைச் சுற்றி சர்க்குலேஷன்

தொகையை (integral) எடுத்துக் கொண்டால், அந்தத் தொகையின் மதிப்பு அப் பாதையின் சர்க்குலேஷன் வலிமைக்குச் (strength of circulation) சமமாகும். ஆகவே, சர்க்குலேஷனை ஒரு மூடிய பாதையில் $V_n dL$ என்பதற்குக் கோட்டுத் தொகையீடு (line integral) என வரையறுக்கிறோம். சர்க்குலேஷனை Γ (காம்மா) என்ற கிரேக்க எழுத்தால் குறிப்பது வழக்கம்.

$$\Gamma = \oint V_L \, dL \tag{3·12}$$

சர்க்குலேஷன் ஒரு திசைவேகப் புலத்தின் தன்மையைக் குறிக்கிறது. சர்க்குலேஷன் இருந்தால் அப் பாய்மப் புலத்திலுள்ள துகள்கள் ஒரு மூடிய பாதையில் சுற்றுகின்றன எனக் கொள்ளலாகாது.

படம் 3·12-ல் உள்ளபடி Δx, Δy என்ற பக்கங்களை உடைய ஒரு இரு பரிமாணத் தனிமத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். அந்த தனிமத்தைச் சுற்றியுள்ள சர்க்குலேஷனின் வலிமையானது

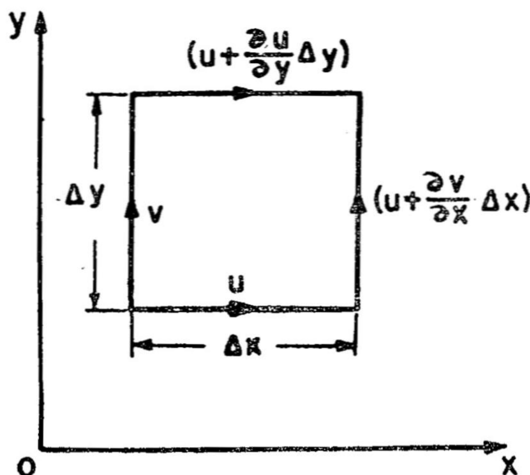
$$\Gamma = \oint_{ABCD} V_L \, dL$$

$$= u\Delta x + \left(v + \frac{\partial v}{\partial x}\Delta x\right)\Delta y - \left(u + \frac{\partial u}{\partial y}\Delta y\right)\Delta x - v\,\Delta y$$

$$= \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}\right)\Delta x\,\Delta y$$

எனவே, ஒரு அலகு பரப்பில் சர்க்குலேஷனுனது,

$$\frac{\Gamma}{\Delta x\,\Delta y}=\left(\frac{\partial v}{\partial x}-\frac{\partial u}{\partial y}\right)=2\omega_z \qquad (3\cdot13)$$

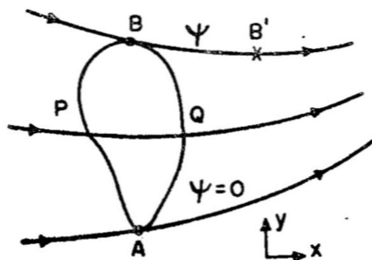


படம் 3·12. தனிமத்தைச் சுற்றி சர்க்குலேஷன்

ஆகவே, ஒரு அலகு பரப்பில் சர்க்குலேஷனின் மதிப்பு அந்த பரப்பின் தளத்திற்கு நேர்குத்தாக உள்ள கோணத் திசைவேகத்தின் அளவிற்கு இருமடங்காகும். சுழற்சியற்ற பாய்ம ஓட்டங்களில் $\omega_z=0$. எனவே, ஒரு மூடிய பாதையைச் சுற்றியுள்ள சர்க்குலேஷன் சுழற்சியற்ற ஓட்டங்களில் விசித்திரப் புள்ளிகளைத் தவிர (except singularities) சுழியாக இருக்கும்.

3·11. இழைச் சார்பு (Stream Function)

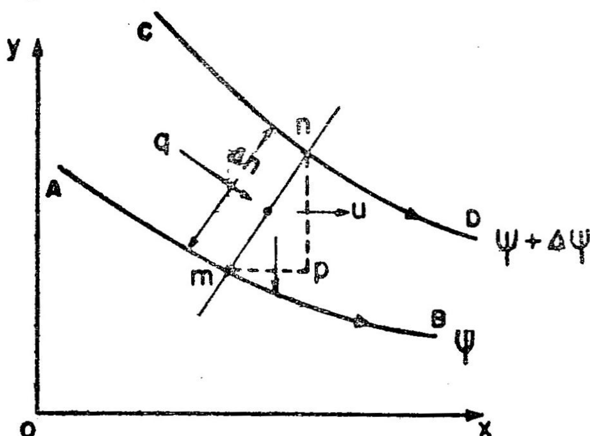
படம் 3·13-ல் இரு பரிமாண, நிலையான, அமுக்கமற்ற பாய்ச்சலில் உண்டாகும் இழைக்கோட்டமைப்பு (streamline pattern) காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் A என்ற புள்ளி நிலையாகவும் (fixed) B என்ற புள்ளி அந்தப் பாய்ச்சல் புலத்தில் இடம் மாறும் தன்மையுள்ளதாகவும் இருக்கட்டும். அந்த இரு புள்ளிகளையும் APB அல்லது AQB என்ற



படம் 3·13. இழைச் சார்பு

யாதாமொரு (arbitrary) வளைகோடுகளால் இணைக்கலாம். Z-திசையில் அலகு கனமுள்ள பாய்ச்சல் புலத்தை எடுத்துக் கொண்டால், APB, AQB வழியாகச் செல்லும் பாயு வீதங்கள் சமமாக இருக்க வேண்டும். இந்தப் பாயு வீதமானது A, B என்ற புள்ளிகளின் இருப்பிடங்களைப் பொறுத்தது. ஆனால் A என்பது நிலையான புள்ளியாதலால், பாயுவீதமானது B-யின் இடத்தைச் சார்ந்தது. இந்தச் சார்பிற்கு இழைச் சார்பு (stream function) எனப் பெயர். இதை ψ என்ற கிரேக்க எழுத்தால் குறிக்கிறோம். ψ என்ற சார்பின் மதிப்பை A-யில் சுழியெனக் கொண்டால், Bயிலுள்ள ψ-யின் மதிப்பு A, B என்ற புள்ளிகளுக்கிடையேயுள்ள பாயுவீதத்தைக் குறிக்கும்.

B வழியாகச் செல்லும் இழைக் கோட்டில் B′ என்ற ஏதாவதொரு புள்ளியை எடுத்துக் கொள்ளவும். BB′ வழியாகப் பாய்மம் பாயாததால் AB′ வழியாகப் பாயும் பாயுவீதம் APB வழியாகப் பாயும் பாயுவீதத்திற்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும். ஆகவே, ψ என்ற சார்பின் மதிப்பு B′ என்ற புள்ளியிலும் B என்ற புள்ளியிலும் சமமாக இருக்கும். எனவே, அந்த இழைக் கோட்டில் ψ என்ற சார்பின் மதிப்பு மாறிலியாகும். இதேபோல் ஒவ்வொரு இழைக் கோட்டிற்கும் அதற்கான சார்பின் மதிப்பு வேறு வேறாக இருக்கும். ஆகவே, இரண்டு இழைக் கோட்டிற்கிடையேயுள்ள பாயுவீதம் அந்த இழைக் கோடுகளின் சார்பு மதிப்புகளின் வேறுபாட்டிற்குச் சமமாகும்.



படம் 3·14. திசைவேகக் கூறுகளும் இழைச் சார்பும்

x, y-திசைகளில் திசைவேகத்தின் கூறுகளின் மதிப்பிற்கும், இழைச் சார்புகளுக்கும் உள்ள தொடர்பை இனி நிறுவுவோம்.

படம் 3·14-ல் உள்ள AB, CD என்ற இழைக்கோடுகளின் இழைச் சார்புகளின் மதிப்பு முறையே ψ, $\psi+\Delta\psi$ ஆக இருக்கட்டும். அந்த இழைக்கோடுகளுக்கு இடையேயுள்ள நேர்குத்து (normal) தூரமான mn-ன் மதிப்பு Δn ஆக இருக்குமானல்,

$$\Delta\psi = q \cdot \Delta n$$

இதில் q என்பது இழைக் கோடுகளுக்கு இடையேயுள்ள சராசரித் திசைவேகத்தைக் குறிக்கும். இப்பேதே $\Delta n \rightarrow 0$ ஆகும் போது

$$q = \frac{\partial\psi}{\partial n} \tag{3·14}$$

இதிலிருந்து ψ என்ற சார்பின் தனிமதிப்பு (absolute value) முக்கியமானதல்ல; திசைவேகம் அல்லது பாயுவீதத்தைக் கணக்கிட இரண்டு இழைக் கோடுகளினுடைய சார்புகளின் மதிப்பு வேறுபாடே தேவை எனத் தெரிகிறது. ஆகவே, $\psi=0$ என்ற மதிப்பை எந்த ஒரு இழைக் கோட்டிற்கும் நம் விருப்பப்படி இடலாம். இப்போது mn வழியாகச் செல்லும் பாயுவிதம், mp, np என்ற இரண்டு பக்கங்களின் வழியாகச் செல்லும் பாயுவீதங்களின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும். np $(=\Delta y)$ என்ற பக்கத்திற்கு நேர்குத்தாக உள்ள திசைவேகக் கூறு u ஆகவும் mp $(=\Delta x)$ என்ற பக்கத்திற்கு நேர்குத்தாக உள்ள திசைவேகக் கூறு v ஆகவும் இருக்கட்டும். பொதுவாகக் கையாளப்படும் குறிமுறையைக் கையாண்டு சமன்பாடு 3·14-ஐ அடைவதற்குக் கையாண்ட முறைப்படி,

$$u = \frac{\partial\psi}{\partial y}$$

$$v = -\frac{\partial\psi}{\partial x} \tag{3·15}$$

என்ற சமன்பாடுகளை அடையலாம். மேலே உள்ள மதிப்புக்களை சமன்பாடு 3·5 (அ)-ல் இட்டால்

$$\frac{\partial\psi}{\partial y}dy + \frac{\partial\psi}{\partial x}dx = 0$$

இந்தச் சமன்பாட்டின் இடது பக்கம் x, y என்ற இரண்டின் சார்பையுடைய ψ என்ற சார்பின் மொத்த வகையீடான (total differential) $d\psi$ ஆகும். இப்போது $d\psi=0$. ஆகவே, ஒரு இழைக் கோட்டில் $\psi=c$ ஆகும். இரண்டு இழைக் கோடுகளுக்கும் இடையேயுள்ள பாயுவீதம் இழைச் சார்புகளின் வேறுபாடாகும். ஆகவே,

$$q = \psi_2 - \psi_1 \tag{3·16}$$

இழைச் சார்பு பற்றிய கருத்துக்களை முப்பரிமாணப் பாய்ச்சல்களுக்கும் பயன்படுத்தலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 3·6. ஒரு இழைச்சார்பு $\psi = x + y^2$ என்ற சமன்பாட்டால் குறிக்கப்படுகிறது. x, y திசைகளில் உள்ள திசைவேகக் கூறுகளை (1, 3) என்ற புள்ளியில் மதிப்பிடு.

$$\psi = x + y^2$$

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y}(x + y^2) = 2y$$

$$v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x}(x + y^2) = -1$$

(1, 3) என்ற புள்ளியில்,

$$u = 2 \times 3 = 6$$

$$v = -1 = -1$$

மேலே யுள்ள இழைச் சார்பு தொடர்ச் சமன்பாட்டையும் பூர்த்தி செய்கிறது.

3·12. திசைவேக அழுத்தம் (Velocity Potential)

மின்சாரமானது மின் அழுத்தம் (voltage) எந்தப் பக்கம் குறைவாக இருக்கிறதோ அங்கு நோக்கிப் பாய்கிறது. இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையேயுள்ள மின்சார ஓட்டம் அந்தப் புள்ளிகளின் அழுத்த வேறுபாட்டைப் பொறுத்தது. அதேபோல் இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே நிகழும் திசைவேகப் பாய்ச்சலானது அந்தப் புள்ளிகளுக்கிடையே உள்ள ஒரு வகை அழுத்த வேறுபாட்டைப் பொறுத்திருக்க வேண்டுமென நாம் எளிதில் ஊகிக்கலாம். அந்த ‘அழுத்த வேறு’பாடே திசைவேக அழுத்தமென (velocity potential) அழைக்கப்படுகிறது. இது ϕ என்ற கிரேக்க எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. ϕ-யின் மதிப்பு அதன் இடத்தையும், காலத்தையும் சார்ந்தது. இது திசையிலிச் சார்பாகும் (scalar function). அதற்குத் தனி மதிப்பு (absolute value) கிடையாது. ஒரு நிலையான பாய்ச்சலை எடுத்துக் கொண்டால், x-, y-, z- திசைகளில் முறையே திசைவேகக் கூறுகள்

$$u = -\frac{\partial \phi}{\partial x}$$

$$v = -\frac{\partial \phi}{\partial y}$$

$$w = -\frac{\partial \phi}{\partial z} \qquad (3·17)$$

எந்தக் கோட்டில் அழுத்தமானது ஒரே அளவினதாக இருக்கிறதோ அதற்கு அழுத்தக் கோடு (potential line) எனப் பெயர். ஆகவே, ஒரு பாய்ச்சலுக்கு அழுத்தச் சார்பு இருக்குமானுல், ஒரே அழுத்தமுள்ள அழுத்தக் கோடுகளை வரைவது சாத்தியமாகும்.

ϕ என்ற அழுத்தச் சார்பின் சில பண்புகளை வருவிப்போம். சமன்பாடு 3·17-ல் உள்ள u, v, w, என்ற திசைவேகக் கூறுகளின் மதிப்பைச் சுழற்தன்மைக்கான கோவைகளில் (expressions) இட்டால்,

$$2\omega_x=\left(\frac{\partial w}{\partial y}-\frac{\partial u}{\partial z}\right)=-\frac{\partial^2\theta}{\partial y\,\partial z}+\frac{\partial^2\phi}{\partial z\,\partial y}$$

$$2\omega_y=\left(\frac{\partial u}{\partial z}-\frac{\partial w}{\partial z}\right)=-\frac{\partial^2\phi}{\partial z\partial x}+\frac{\partial^2\phi}{\partial x\,\partial z}$$

$$2\omega_z=\left(\frac{\partial v}{\partial x}-\frac{\partial u}{\partial x}\right)=-\frac{\partial^2\phi}{\partial x\partial y}+\frac{\partial^2\phi}{\partial y\partial x}$$

இப்போது ϕ என்பது தொடர்வான சார்பானுல்

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial y\,\partial z}=\frac{\partial^2\phi}{\partial z\partial y}$$

முதலியன ஏற்படும். எனவே, $\omega_x=\omega_y=\omega_z=0$ ஆகும். இது சுழற்சியற்றிருப்பதற்கான நிபந்தனையாகும். ஆகவே, திசைவேகச் சார்பு இருக்குமானுல் அந்த பாய்ச்சல் சுழற்சியற்றதாக இருக்கவேண்டும். இதன் மறுதலையும் (converse) உண்மையாகும்.

திசைவேகக் கூறுகளை, நிலையான, அமுக்கமற்ற பாய்ச்சலுக்கான தொடர்ச் சமன்பாட்டில் இட்டால் நாம் கீழ்க்கண்ட லெப்லாஸ் (Laplace) சமன்பாட்டை அடைகிறேம்.

$$\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\phi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\phi}{\partial z^2}=0 \tag{3·18}$$

ஆகவே, எந்தச் சார்பு ϕ லெப்லாஸ் சமன்பாட்டைப் பூர்த்தி செய்கிறதோ அந்தச் சார்பு நிலையான, அமுக்கமற்ற, சுழற்சியற்ற பாய்ச்சலைக் குறிக்கும் எனக் கொள்ளலாம். இதையே நாம் அழுத்தப் பாய்ச்சல் அல்லது அழுத்த ஓட்டம் (potential flow) என்கிறேம்.

இழைச் சார்பு சுழற்சியுள்ள, சுழற்சியற்ற இரண்டு வகை ஓட்டங்களுக்கும் பொருந்தும். ஆனுல் அழுத்தச் சார்போ சுழற்சி

யற்ற ஓட்டங்களுக்கு மட்டுமே செல்லுபடியாகும். சுழற்சியற்ற ஓட்டங்களில் ψ, ϕ என்ற இரண்டு சார்புகளும் லெப்லாஸ் சமன்பாட்டைப் பூர்த்தி செய்வதால் அவைகளை ஒன்றுக்கொன்று மாற்றி எழுதலாம்.

சமன்பாடுகள் 3·15, 3·17-ன் உதவியால் ஒரு நிலையான, அமுக்கமற்ற, சுழற்சியற்ற பாய்ச்சல்களுக்கு இழைச் சார்பு, அழுத்தச் சார்பு இவற்றிற்கான தொடர்புகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\frac{\partial \psi}{\partial y} = -\frac{\partial \phi}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = \frac{\partial \phi}{\partial y} \qquad (3·19)$$

இவற்றிற்கு கோஷி-ரீமான் (Cauchy-Reimann) சமன்பாடுகள் எனப்பெயர்.

மாதிரிக் கணக்கு 3·7. $\psi = x^2 - y^2$ என்ற சமன்பாடு இரு பரிமாணப் பாய்ச்சலைக் குறிக்கிறது என நிரூபி. அதன் அழுத்தச் சார்பு என்ன ?

ψ என்ற சார்பு லெப்லாஸ் சமன்பாட்டைப் பூர்த்தி செய்தால் அது சுழற்சியற்ற பாய்ச்சலுக்கானது எனத் தெரியும்.

$$\psi = x^2 - y^2$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 2 - 2 = 0$$

எனவே, ψ என்ற சார்பு இரு பரிமாண, சுழற்சியற்ற பாய்ச்சலைக் குறிக்கிறது.

$$u = -\frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y} = -2y$$

$$\therefore \quad \phi = 2xy + f(x) \qquad \ldots\ldots(அ)$$

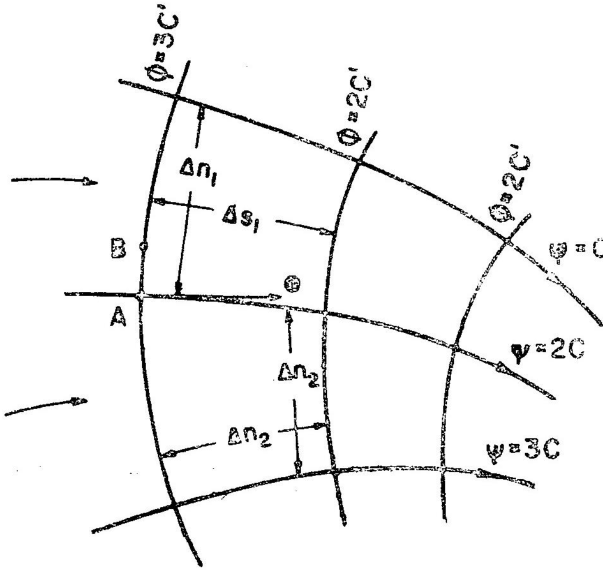
$$v = -\frac{\partial \phi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x} = -2x$$

$$\therefore \quad \phi = 2xy + f'(x) \qquad \ldots\ldots(ஆ)$$

$\phi = 2xy + c$ (மாறிலி) என்ற சமன்பாடு மேலேயுள்ள **அ, ஆ** என்ற சமன்பாடுகளைப் பூர்த்தி செய்யும்.

3·13. பாய்மப் பாய்ச்சல் வலை (Flow-net)

நிலையான, இரு பரிமாண, அமுக்கமற்ற பாய்ச்சலில் ஒரு இழைக் கோட்டில் $\psi(x,y)$ என்ற சார்பின் மதிப்பு மாறிலியாகும் என்று முன்னர் படித்தோம். அழுத்தப் பாய்ச்சலில் $\phi(x,y)$ என்ற சார்பு சம அழுத்தக் கோடுகளில் மாறிலியாகும்.



படம் 3·15. பாய்ச்சல் வலை

படம் 3·15-ல் உள்ளபடி ஒரு சம அழுத்தக் கோட்டிலுள்ள A, B என்ற புள்ளிகளை எடுத்துக் கொள்வோம். இந்த இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையே அழுத்த வேறுபாடு இல்லையாதலால் AB என்ற கோட்டில் எந்த விதமான திசைவேகக் கூறும் இயங்க முடியாது. அதாவது B யானது A-யை அணுகும் போது அந்தச் சம அழுத்தக் கோட்டில் (ϕ கோட்டில்) A என்ற புள்ளியிலுள்ள தொடு கோட்டுத் திசையில் எந்தத் திசைவேகக் கூறும் இயங்காது. எனவே, v என்ற திசைவேகமானது அந்தச் சம அழுத்தக் கோட்டில் எந்த இடத்திலும் அதற்கு நேர்குத்தாக இருக்கும். ஆனால் திசை வேகமானது இழைக் கோட்டிற்கு எந்த இடத்திலும் தொடு கோடாக இருக்கிறது என்று முன்னர் வரையறுத்துள்ளோம். ஆகவே, இழைக் கோடும், சம அழுத்தக் கோடும் ஒன்றையொன்று நேர்கோணத்தில் சந்திக்கின்றன. A என்பது எந்தப் புள்ளியையும் குறிக்குமாதலால், இழைக் கோடுகளும், சம அழுத்தக் கோடுகளும்

ஒன்றையொன்று நேர்குத்தாக வெட்டிக் கொள்ளும் வலையமைப்பு (flow-net) போன்றிருக்கும் எனக் கொள்ளலாம்.

இரண்டு அடுத்தடுத்துள்ள இழைக் கோடுகளிடையே உள்ள பாயுவீதம் சமமாகும். ஆகவே, படம் 3·15-ல்,

$$v_1 \ \Delta n_1 = v_2 \ \Delta n_2$$

ஆனல் $$v_1 = -\frac{d\phi}{ds_1},\ v_2 = -\frac{d\phi}{ds_2},\ \Delta\phi = c'$$

ஆகவே,

$$v_1 \ \Delta s_1 = v_2 \ \Delta s_2 = -\Delta\phi = c'$$

மேலும்

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\Delta n_2}{\Delta n_1} = \frac{\Delta s_2}{\Delta s_1} \qquad (3{\cdot}20)$$

இதிலிருந்து

$$\Delta n_2 = \Delta s_2$$
$$\Delta n_1 = \Delta s_1$$

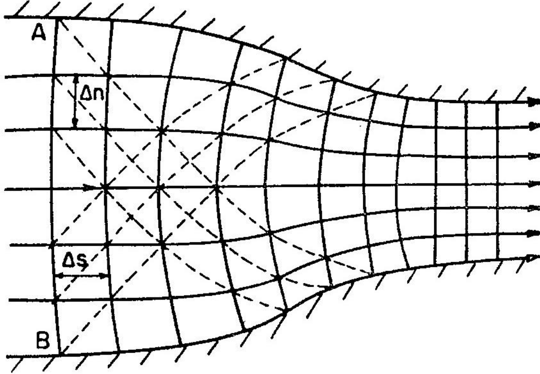
எனத் தெரியும்.

ஆகவே, ஒரு இரு பரிமாண, சுழற்சியற்ற பாய்ச்சலுக்குத் தகுந்த முறையில் ψ, ϕ சார்புகளைத் தேர்ந்தெடுத்து நேர்குத்தாக வெட்டிக் கொள்ளும் இழைக் கோடுகள், சம அழுத்தக் கோடுகள் இவற்றல் ஆன வலைபோன்ற அமைப்பை அடைவது சாத்தியம். இந்த அமைப்பிற்குப் பாய்ச்சல் வலை (flow-net) எனப்பெயர். இதில் ஒவ்வொரு சதுக்கமும் (grid) சுழி மதிப்பை அடையும் அளவிற்குச் சிறியதாகும்போது அது சதுர வடிவமுடையதாக இருக்கும்.

பாய்ம ஓட்டமானது சுழற்சியற்றதாக இருந்தால் மட்டுமே அதற்கான பாய்ச்சல் வலையை வரைய முடியும். சுழற்சியுள்ள ஓட்டங்களில் பாய்ச்சல் வலை சதுரமாக அமையாததால் அந்த ஓட்டங்களுக்குப் பாய்ச்சல் வலை வரைய முடியாது. பொதுவாகப் பாய்மம் பாய்ந்து செல்லும் அமைப்பில் எல்லைகள் இழைக் கோடுகளாக இருக்குமாதலால், ஒவ்வொரு அமைப்பிற்கும் இந்தப் பாய்ச்சல் வலை தனித்துவம் வாய்ந்தது.

இந்தப் பாய்ச்சல் வலையை வரைபட (graphical) முறையாலோ அல்லது மின்சார ஒப்புமை (electrical analogy) முறையாலோ அல்லது எண்சார் பகுப்பாய்வு (numerical analysis) முறையாலோ அடையலாம். பாய்ச்சல் வலையை முப்பரிமாணப் பாய்ச்சல்களுக்கும்

பயன்படுத்தலாம். வரைபட முறையில் இரு பரிமாணப் பாய்ச்சலுக்கு எப்படி வரைவது என்று படம் 3·16-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

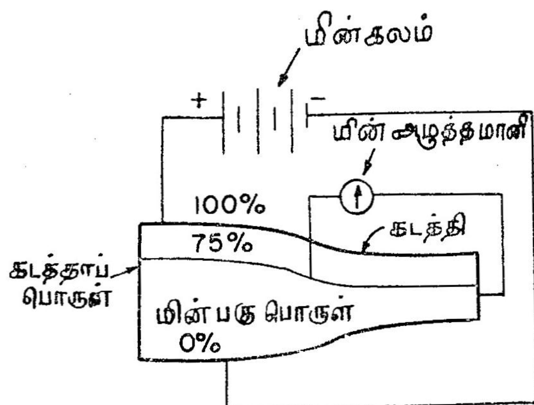


படம் 3·16. குவியும் அமைப்பிற்குப் பாய்ச்சல் வலை

குவியும் பாதையிலுள்ள இரு எல்லைகளையும் இழைக் கோடுகளாகக் கருதலாம். மேலும் ஐந்து இழைக் கோடுகள் ஒன்றுக்கொன்று சம தூரத்திலிருக்கும்படி எல்லைகளுக்கு இடையிலுள்ள இடத்தை ஆறு பாகங்களாகப் பிரிக்கின்றன. மேலும் துல்லிதமாக பாய்ச்சல் வலை வரைய வேண்டுமானல் அதிகப்படியான இழைக் கோடுகளை வரைந்து கொள்ளலாம். AB என்ற சம அழுத்தக் கோடு அந்த இழைக்கோடுகளுக்கு நேர்குத்தாக இருக்கும்படி வரையப்படுகிறது. மற்றொரு சம அழுத்தக் கோடு $\Delta s = \Delta n$ ஆக இருக்கும்படி வரையப்பட்டால், இழைக் கோடுகளும், சம அழுத்தக் கோடுகளும் பல சதுரங்களை உண்டாக்குவதைக் காணலாம். இப்படிப் பட்ட சதுரங்களை சீரற்ற ஓட்டத்தை விட, சீரான ஓட்டங்களுக்கு வரைதல் எளிது. சீரற்ற ஓட்டங்களில் இழைக் கோடுகளும், சம அழுத்தக் கோடுகளும் வளைந்திருக்கும். இருந்த போதிலும் அவைகள் ஒன்றையொன்று நேர்குத்தாக வெட்டும்படி வரைய வேண்டும். இவ்வாறு வரைவதற்குப் பழக்கமும், பொறுமையும் தேவை. வரைந்த பாய்ச்சல் வலையைப் படத்தில் காட்டியுள்ளபடி மூலைவிட்டங்கள் விட்டுவிட்டு இல்லாமல் தொடர்ச்சியாக வரையமுடிகிறதா எனக் கண்டு சோதித்துக் கொள்ளலாம். மேலும் மூலைவிட்டங்களும் ஒரு சதுர வலையை உண்டாக்கவேண்டும்.

ஒரு மின்புலத்தில் மின்அழுத்த வீழ்ச்சி (voltage drop), மின்சார ஓட்டம் ஆகியவை ஒரு நிலையான, ஒருபடித்தான பாய்ச்சல் புலத்தில் அழுத்த வேறுபாட்டிற்கும் திசைவேகத்திற்கும்

ஒப்புமை உடையன. ஒரு மின் ஒப்புமை அமைப்பு படம் 3·17-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. குவிந்துள்ள பாதையின் அமைப்பிற்கு

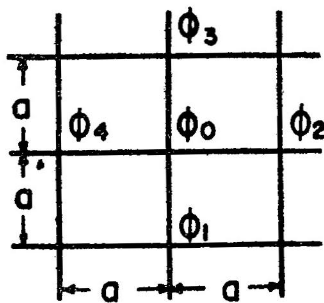


படம் 3·17. மின் ஒப்புமைக் கருவி

இழைக் கோடுகளை மின் ஒப்புமை எவ்வாறு வரைவது என்பதை விளக்குவோம். குவிந்துள்ள பாதையின் எல்லைகளுக்கு மின் கடத்திகள் (conductors) பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அந்தப் பாதையின் இரண்டு பக்கங்களிலும் ஓட்டத்திற்கு நேர்குத்தாக மின்கடத்தாப் (non-conductors) பொருள்கள் அமைக்கப்படு கின்றன. இவைகளுக்கு இடையேயுள்ள இடத்தை மின்பகு பொருளால் (electrolyte) சீரான ஆழத்திற்கு நிரப்புகிறோம். பின்னர் இரு கடத்திகளுக்குமிடையே ஒரு மின் அழுத்த வேறுபாட்டை உண்டாக்கி, அந்த மின்பகுபொருளில் மின் அழுத்தம் ஒரே அளவினதாக இருக்கும் கோட்டை மின் அழுத்த மானியின் (potentiometer) உதவி கொண்டு அடைகிறோம். இவ் வாறு அடையப்பட்ட கோடு, அந்தக் குவிந்த பாதையிலுள்ள பாய்ச்சலுக்கான இழைக் கோடாகும். இது போல் நமக்குத் தேவையான இழைக் கோடுகளைப் பொறுத்தமான மின் அழுத்த வீழ்ச்சிகளைத் தேர்ந்தெடுத்து வரைந்து கொள்ளலாம். எல்லை களிலுள்ள கடத்திகளையும், கடத்தாப் பொருள்களையும் மாற்றி அமைத்து, கடத்திகளிடையே மின் அழுத்த வேறுபாட்டை உண்டாக்கிச் சம அழுத்தக் கோடுகளையும் (potential lines) அடையலாம். சம அழுத்தக் கோடுகளை பொருத்தமாகத் தேர்ந் தெடுத்து வரைந்தால் பாய்ச்சல் வலை கிடைக்கும்.

பகுதி வகையீட்டுச் சமன்பாடுகளுக்கு (partial differential equations) தோராயமான தீர்வை (approximate solution)

முடிவுள்ள வேறுபாட்டுக் கொள்கை (finite difference theory) மூலம் ஒரு பகுதியின் சல்லடை அமைப்பில் (net work) பல மதிப்புகளை ஊகித்து இட்டு பின்னர் சமன் செய்து (balance) அடையலாம். படம் 3·18-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி ஒரு சல்லடை அமைப்பில் லெப்லாஸ் சமன்பாட்டிலுள்ள ϕ என்ற சார்பிற்கு பல மதிப்புகளை ஊகித்து, இட்டு, பின்னர் கீழ்க் கண்ட சமன்பாட்டைப் பூர்த்தி செய்யும்படி ஆக்கவேண்டும்.



படம் 3·18. முடிவுள்ள வேறுபாடு முறையின் விளக்கம்

$$\phi_1+\phi_2+\phi_3+\phi_4-4\phi_0=0$$

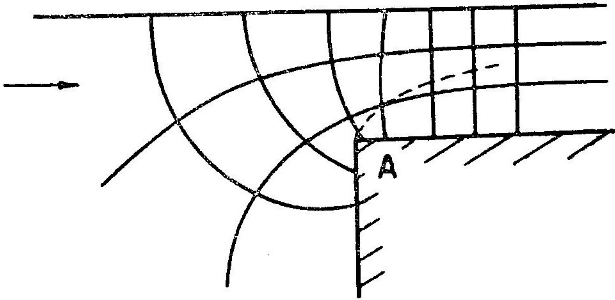
இந்தச் சல்லடை அமைப்பிலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியைச் சுற்றியும் மேலே உள்ளதுபோல் சமன்பாடுகளை எழுதி இவ்வாறு கிடைக்கும் ஒருங்கமைச் சமன்பாடுகளுக்குத் (simultaneous equations) தீர்வு கண்டால் ஒவ்வொரு புள்ளியிலுமுள்ள அழுத்தத்தை (potential)அடையலாம். அல்லது தளர்த்து முறையைப்(relaxation method) பயன்படுத்தி ஒவ்வொரு புள்ளியிலுமுள்ள அழுத்தத்தையும் படிப்படித் தோராய முறைப்படி அடையலாம்.

இவ்வாறு எந்த முறையைக் கையாண்டும் ஒரு கொடுக்கப்பட்ட அழுத்தப் பாய்ச்சலுக்கு (potential flow) தனித்தன்மை வாய்ந்த பாய்ச்சல் வலையை வரைய முடியும். ஒரே மாதிரி அமைப்புகளுக்குப் பாய்ச்சல் வலை ஒரே மாதிரியாக இருக்கும்.

3·14. பிரிதல் (Separation)

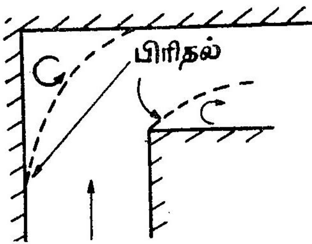
சோதனைகளிலிருந்து எல்லைகள் குவியும் அமைப்புகளில் திசைவேகப் பகிர்வு சீராக இருக்கிறது என அறிகிறோம். அப்படிப்பட்ட இடங்களில் சுழற்சி குறைவாக இருக்குமாதலால், பாய்ச்சல் வலையைப் பயன்படுத்தி திசைவேகம், அழுத்தம் ஆகியவற்றைக் கணிக்கலாம். ஆனால் எங்கு எல்லைகள் விரிந்து செல்கின்றனவோ அங்கு திசைவேகம் படிப்படியாகக் குறைகிறது. எல்லைகளின் ஓரத்திலுள்ள மிகக் குறைவான திசைவேகம் மேலும் குறைய ஆரம்பிக்கிறது. இவ்வாறு குறையும் திசைவேகம் சுழி வேகத்தை அடையுமானால், எல்லை இழைக் கோடானது எல்லையிலிருந்து தனியாகப் பிரிந்து செல்கிறது. இவ்வாறு பிரிந்த இழைக்

கோட்டிற்கும் எல்லைக்கும் இடைவெளியில் சுழல்கள் உண்டாகின்றன. இப்படி இழைக் கோடு எல்லையிலிருந்து பிரிந்து செல்வதற்குப் பிரிதல் (separation) எனப் பெயர்.



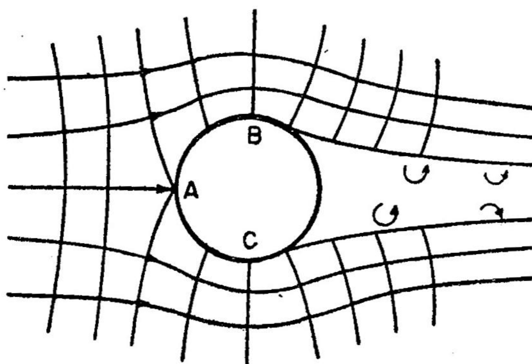
படம் 3·19. விளிம்பில் ஏற்படும் பிரிதல்

சில அமைப்புகளில் எவ்வாறு பிரிதல் ஏற்படுகிறது எனப் பார்ப்போம். படம் 3·19-ல் பாய்ச்சலானது குவியும் தன்மையுள்ளதாக இருப்பினும் A என்ற திடீர் திருப்பமுள்ள புள்ளியில் பாய்ச்சல் வலைச் சதுரங்களின் பரப்பு சுழியாகவும், மற்ற இடங்களில் சதுரங்களின் பரப்பு ஏதாவதொரு மதிப்புள்ளதாகவும் இருப்பது நோக்கற்பாலது. எனவே, A என்ற முனையில் திசைவேகமானது கொள்கை அடிப்படையில் ஆயும்போது வரம்பிலா மதிப்பை உடையதாக இருக்க வேண்டும் எனத் தெரிகிறது. ஆனால் நடைமுறையில் இது சாத்தியமில்லையாதலால், A என்ற புள்ளியில் பிரிதல் நிகழ்கிறது. இந்தப் பிரிதலை நாம் அந்த முனையை வளைத்து அமைப்பதால் தடுக்கலாம். இதே போல் இரண்டு பிரிதல்களை உடைய அமைப்பு படம் 3·20-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் நீளமான ஆரமுடைய வளைந்த குழாயைப் பயன்படுத்தி பிரிதலைத் தடுக்கலாம். ஒரு கோளத்திற்குப் பின்னும், அல்லது இரு பரிமாண உருளைக்குப் பின்னும் பிரிதல் நிகழ்வதை படம் 3·21 காட்டுகிறது. படத்தில் A என்ற புள்ளியில் திசைவேகம் சுழியாகும். இந்தப் புள்ளிக்குத் தேக்கப்புள்ளி (stagnation point) எனப் பெயர். இந்தப் புள்ளியில் திசைவேகத் தலைப்பு (velocity head) முழுவதும் அழுத்தத் தலைப்பாக (pressure head) மாற்றப்படுகிறது. இந்தக் கோளம் அல்லது உருளையின்



படம் 3·20.
திடீர் வளைவில் பிரிதல்

எல்லைகளில் B, C என்ற புள்ளிகளிலிருந்து எல்லை இழைக்



படம் 3·21. கோளத்தைச் சுற்றி பாய்ச்சல்

கோடுகள் பிரிகின்றன. இது பற்றி அத்தியாயம் 8-ல் விரிவாகப் படிப்போம்.

எங்கெல்லாம் பிரிதல் ஏற்படுகிறதோ அந்த அமைப்புகளில், அப்பிரிதலுக்கு பின்னுள்ள பாகத்தை நிரப்பிவிட்டால் இழைக் கோட்டுப் பாய்ச்சல் (stream-lined flow) ஏற்படும். அவ்வாறு உண்டாகும் வடிவத்திற்கு இழைக் கோட்டு வடிவம் (stream-lined body) எனப்பெயர்.

3·15. பாய்ச்சல் வலையின் பயன்கள் (Uses of Flow-net)

(1) ஒரு பாய்ச்சல் புலத்தில் ஏதாவது ஒரு புள்ளியில் திசை வேகம் தெரியுமானால், அந்தப் புலத்தில் வேறு எந்தப் புள்ளியிலும் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடலாம். இரு புள்ளிகளிலுமுள்ள திசை வேகங்கள், அந்தப் புள்ளியிலுள்ள இழைக் கோடு அல்லது அழுத்தக் கோடுகளிலுள்ள சதுரங்களின் பக்கங்களுக்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கும். (2) திசைவேகப் பகிர்வை அறிந்தபின், அழுத்தப் பகிர்வை (pressure distribution) பெர்னுலிச் சமன் பாட்டைப் பயன்படுத்திக் கணக்கிட முடியும். (3) பிரிதல் எங் கெங்கு ஏற்படும் என முன்னரே கண்டறிந்து, பிரிதலைத் தவிர்ப்ப தற்கான வழி முறைகளைக் கையாளலாம். (4) நீர் தூக்கு விசையைக் (uplift) கணக்கிட உதவும். இவ்விசையைக் குறைப்ப தற்கான வழிகளை அமைப்பதற்கு உதவியாக இருக்கும்.

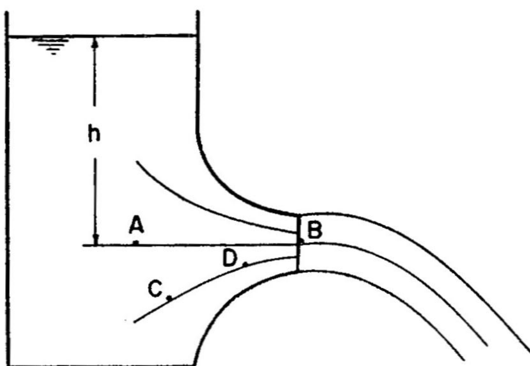
3·16. பாய்மப் பாய்ச்சலில் முடுக்கம் (Acceleration in Fluid Flow)

பாய்மப் புலத்திலுள்ள ஒரு புள்ளியில் திசைவேகம் மாறும் வீதம், அப்புள்ளியில் பாய்மத்தின் முடுக்கம் என வரையறுக்கப்

படுகிறது. இந்தத் திசைவேக மாறுவீதம் நேரம் அல்லது அமைப்பு அல்லது இரண்டையும் சார்ந்தது. படம் 3·22-ல் காட்டப் பட்டுள்ள தொட்டியிலுள்ள குவியும் முனை(nozzle)யை எடுத்துக் கொள்வோம். இந்தத் தொட்டியிலுள்ள திரவத்தின் ஆழமான n மாறுமல் இருக்குமானல் அந்த முனை வழியாக வெளிவரும் திரவத்தின் திசைவேகம் நிலையுள்ளதாக இருக்கும். அதாவது அந்த முனையில் எந்த இடத்திலும் திசைவேகமானது நேரத்தால் மாறுபடாது. ஆனல் இந்த முனையானது குவிந்த அமைப்புள்ள தால் திசைவேகம் படிப்படியாக அதிகரிக்கிறது; அதாவது முடுக்கம் ஏற்படுகிறது. இவ்வாறு சீரற்ற பாய்ச்சலில் ஏற்படும் முடுக்கத்திற்குச் சலன முடுக்கம் (convective acceleration) எனப் பெயர். இப்போது தொட்டியிலுள்ள திரவத்தின் ஆழம் மாறுபடு மானல் முனையிலுள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் திசைவேகம் நேரத் தால் மாறுபடும்; அதாவது ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் முடுக்கம் ஏற்படுகிறது. இப்படிப்பட்ட முடுக்கத்திற்குக் காலஞ்சார்ந்த முடுக்கம் (local acceleration) எனப் பெயர். சலன முடுக்கம், காலஞ்சார்ந்த முடுக்கம் இவற்றின் கூட்டுத் தொகைக்கு மொத்த முடுக்கம் (total acceleration) எனப் பெயர்.

3·17. சலன முடுக்கம்

முடுக்கம் திசையுளியுடையது. படம் 3·22-ல் CD என்ற வளைந்த இழைக் கோட்டை எடுத்துக்கொள்வோம். அந்த முனையில் (nozzle) தொழிற்படும் தலைப்பு h மாறுமலிருக்கட்டும். C, D என்ற புள்ளிகளில் திசைவேகங்களின் திசை CD என்ற இழைக்

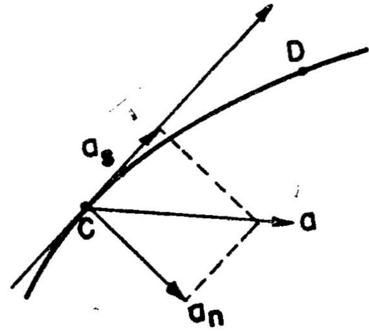


படம் 3·22. முனை வழியாகப் பாய்ச்சல்

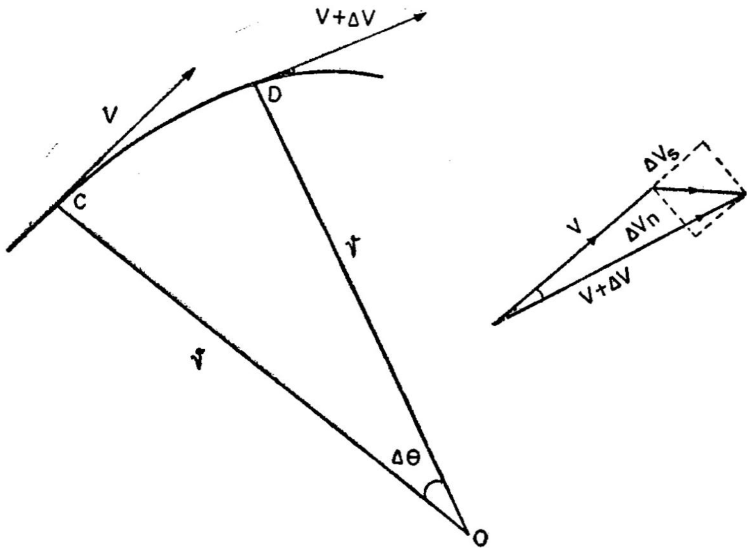
கோட்டிற்கு அந்த அந்த புள்ளிகளில் தொடுகோடுகளாக இருக் கும். திசைவேகமானது அளவில் மாறுவதால், திசைவேகத்தின்

திசையில் முடுக்கத்தின் கூறு தொழிற்படவேண்டும். மேலும் திசைவேகமானது திசையிலும் மாறுவதால் முடுக்கத்தின் கூறு ஒன்று திசைவேகத்தின் திசைக்கு நேர்குத்தாகவும் தொழிற்பட வேண்டும். இது தெளிவாகப் படம் 3·23-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. முதலில் விளக்கப்பட்ட முடுக்கத்தின் கூறுக்கு தொடு கோட்டு முடுக்கம் (tangential acceleration) என்றும், பின்னையதற்கு நேர்குத்து முடுக்கம் (normal acceleration) என்றும் பெயர்.

தொடுகோடு, நேர்குத்து முடுக்கங்களை கீழ்க்கண்டவாறு அடையலாம். CD என்ற இழைக் கோட்டில் நிலையான, சீரற்ற பாய்ச்சல் நிகழுவதாக எடுத்துக் கொள்வோம். ஒரு பாய்மத் துகளானது $\triangle s$ (= CD) என்ற சிறிய தூரத்தை $\triangle t$ என்ற நேரத்தில் கடக்கும் போது அதன் திசை வேகம் V-யிலிருந்து $(V+\triangle V)$ ஆக அதிகரிக்கிறது. C என்ற புள்ளி



படம் 3·23. முடுக்கத்தின் கூறுகள்



படம் 3·24. இழைக் கோட்டில் முடுக்கம்

யில் இவ்வாறு அதிகரிக்கும் திசை வேகத்தின் அதிகரிப்பு அந்தப்

புள்ளியிலுள்ள தொடுகோட்டுத் திசையில் $\triangle V_s$ ஆகவும், நேர்குத்துத் திசையில் $\triangle V_n$ ஆகவும் படம் 3·24-ல் காட்டியுள்ளபடி இருக்கட்டும். தொடுகோட்டுத் திசையில் $\triangle t$ நேரத்தில் ஏற்படும் திசைவேக மாற்றத்தால் தொடு கோட்டு முடுக்கம் ஏற்படுகிறது. திசைவேகம் வெளி இடத்தைச் (space) சார்ந்தது எனக் கொண்டால்,

$$\frac{\triangle V_s}{\triangle t}=\frac{\triangle V_s}{\triangle s}\cdot\frac{\triangle s}{\triangle t}$$

$$a_s=\frac{dV_s}{dt}=\underset{\triangle t\to o}{\text{எல்லை}}\ \frac{\triangle V_s}{\triangle t}=\frac{\partial V}{\partial s}\cdot V=\frac{\partial\,(V^2/_2)}{\partial S} \qquad (3{\cdot}21)$$

இதேபோல் நேர்குத்து முடுக்கமான a ஆனது,

$$\frac{\triangle V_n}{\triangle t}=\frac{\triangle V_n}{\triangle s}\cdot\ \frac{\triangle s}{\triangle t}$$

ஆனல் $$\frac{\triangle V_n}{\triangle s}=\frac{V}{r}$$

எனவே,

$$a_n=\frac{dV_n}{dt}=\underset{\triangle t\to o}{\text{எல்லை}}\ \frac{\triangle V_n}{\triangle t}=\frac{V}{r}\cdot V=\frac{V^2}{r} \qquad (3{\cdot}22)$$

$\triangle t$ என்ற நேரத்தில் ஒரு பாய்மத் துகளானது C-பிலிருந்து D-க்கு செல்வதால் தொடுகோடு தொடுகோட்டிற்கு நேர்குத்துத் திசை முதவியவற்றில் ஏற்படும் மாறுதல்களைக் குறிக்க முறையே s, n என்ற பின்னெட்டுக்கள் கையாளப்பட்டுள்ளன. $\triangle t\to o$ ஆகும் போது இந்த மாற்றங்கள் C-யிலுள்ள திசைவேகமாகிறது.

மேலே விளக்கப்பட்டுள்ள திசைவேக மாறுபாடு சீரற்ற அமைப்பில் ஏற்படுகிறது. ஆகவே, இந்த முடுக்கத்தைச் சலன முடுக்கம் (convective acceleration) என்கிறோம்.

3·18. இடஞ்சார்ந்த, மொத்த முடுக்கங்கள்

படம் 3·22-ல் பாத்திரத்திலுள்ள திரவத்தின் ஆழம் மாறுமானல், அந்த முனையின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலுமுள்ள திசைவேகமும் நேரத்திற்கு நேரம் மாறுபடும். இத்திசைவேக மாறுபாட்டால் ஏற்படும் முடுக்கத்திற்கு இடஞ்சார்ந்த முடுக்கம் எனப் பெயர். தொடுகோட்டுத் திசையிலுண்டாகும் முடுக்கம், அத்

திசையில் $\triangle t$ என்ற நேரத்திலேற்படும் திசைவேகக் கூறின் வேறுபாட்டு வீதத்திற்குச் சமமாகும். இதை $\frac{\partial V_s}{\partial t}$ எனக் குறிக்கிறோம். அதேபோல் நேர்குத்துத் திசையில் இடஞ்சார்ந்த முடுக்கமானது $\frac{\partial V_n}{\partial t}$ ஆகும்.

மொத்த முடுக்கமானது, சலன முடுக்கம் இடஞ்சார்ந்த முடுக்கம் இவற்றின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும். மொத்தத் தொடுகோட்டு முடுக்கமானது

$$a_s = \frac{dV_s}{dt} = \frac{\partial V_s}{\partial t} + \frac{\partial\left(\frac{V^2}{2}\right)}{\partial s} \qquad (3{\cdot}23)$$

$$a_n = \frac{dV_n}{dt} = \frac{\partial V_n}{\partial t} + \frac{V^2}{r} \qquad (3{\cdot}24)$$

மாதிரிக் கணக்கு 3·8. ஒரு பம்பின் (pump) மையத்தில உறிஞ்சும் குழாயின் (suction pipe) நுழைவாயிலிருந்து (inlet) உள்ள ஆரத் தூரத்திற்கு எதிர்விகிதத்தின் வர்க்கத்தில் பாதாளத் தொட்டியில் (sump) திசைவேகப் பகிர்வு இருக்கிறது. உறிஞ்சு குழாயின் நுழைவாய் மையத்திலிருந்து 1 மீ தூரத்தில் திசைவேகம் 1 மீ/வி ஆக இருக்குமானல், 0·5 மீ, 1·0 மீ தூரங்களில் முடுக்கம் என்ன ?

$$\text{திசைவேகம் } V = \frac{K}{r^2}$$

இப்போது $r = 1$ மீ, $V = 1$ மீ/வி. எனவே, $K = 1$

$$\frac{\partial V}{\partial r} = -\frac{2}{r^3}$$

இப்போது $a_r = -\frac{V\partial V}{\partial r}$ ($\because r$ குறையை, v அதிகரிப்பதால்)

$$= -\frac{2}{r^5}$$

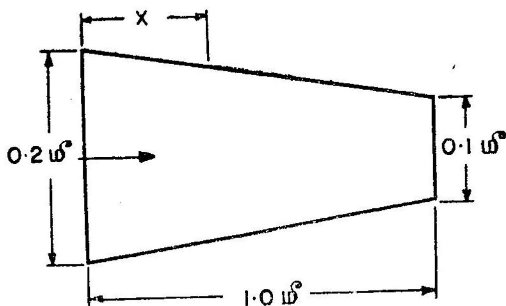
$r = 0{\cdot}5$ மீ ஆக இருக்கும்போது,

$$a_r = \frac{2}{(\frac{1}{2})^5} = 64 \text{ மீ/வி}^2$$

$r = 1{\cdot}5$ மீ ஆக இருக்கும்போது,

$$a_r = \frac{2}{(\frac{3}{5})^5} = \frac{64}{243} \text{ மீ/வி}^2$$

மாதிரிக் கணக்கு 3·9. ஒரு குழாயானது 0·2 மீ விட்டத்தி லிருந்து 0·1 மீ விட்டத்திற்கு 1 மீ தூரத்தில் சீராகக் குறைகிறது. அதன் வழி செல்லும் பாயுவீதம் 10 லிட்டர்/வி ஆனுல், அந்தக் குழாயின் நடுப்பாகத்தில் சலன முடுக்கத்தைக் கணக்கிடு. பாயு வீதமானது 10 லி/வி-யிலிருந்து 20 லி/வி-க்கு 20 விநாடிகளில் அதிகரிக்குமானுல், குழாயின் நடுப்பாகத்தில் 10வது விநாடியில் ஏற்படும் மொத்த முடுக்கம் என்ன ?



$$Q = 10{,}000 \text{ செமீ}^3/\text{வி}$$

$$V_1 = \frac{10000}{\pi \times 10^2} = 31{\cdot}9 \text{ செமீ/வி}$$

$$V_2 = 31{\cdot}9 \times 4 = 127{\cdot}6 \text{ செமீ/வி}$$

நுழைவாயிலிலிருந்து x-தூரத்தில் திசைவேகமானது,

$$V_x = 31{\cdot}9 + \frac{95{\cdot}7}{100}x$$

$$\frac{dV_x}{dx} = \frac{95{\cdot}7}{100}$$

சலன முடுக்கம் $x = 50$ செமீ என்ற இடத்தில்,

$$a = V\frac{dV_x}{dx} = \left(31{\cdot}9 + \frac{95{\cdot}7}{100} \times 50\right)\frac{95{\cdot}7}{100} = \frac{79{\cdot}75 \times 95{\cdot}7}{100}$$

$$= 76{\cdot}4 \text{ செமீ/வி}^2$$

10-வது விநாடியில் $Q = 15000$ செமீ^{3}/வி

$$V_1 = \frac{15000}{\pi \times 10^2} = 47{\cdot}7 \text{ செமீ/வி}$$

$$V_2 = 47{\cdot}7 \times 4 = 190{\cdot}8 \text{ செமீ/வி}$$

$$V_x = \left(47{\cdot}7 + \frac{143{\cdot}1}{100}x\right)$$

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} = \frac{143{\cdot}1}{100}$$

$$\text{சலன முடுக்கம்} = \left(47{\cdot}7+\frac{143{\cdot}1}{100}\times 50\right)\frac{143{\cdot}1}{100}$$

$$=\frac{119{\cdot}25\times 143{\cdot}1}{100}=170 \text{ செமீ/வி}^2$$

இடஞ்சார்ந்த முடுக்கம் $d=15$ செமீ என்ற இடத்தில் பாயுவீத அதிகரிப்பால்,

$d=15$ செமீ $Q=10$ லி/வி-யாக இருந்தபோது

$$V=\frac{10000\times 4}{\pi\times 15^2}=56{\cdot}6 \text{ செமீ/வி}$$

$Q=20$ லி/வி-யாக இருக்கும்போது,

$$V=\frac{15000\times 4}{\pi\times 15^2}=56{\cdot}6\times 2 \text{ செமீ/வி}$$

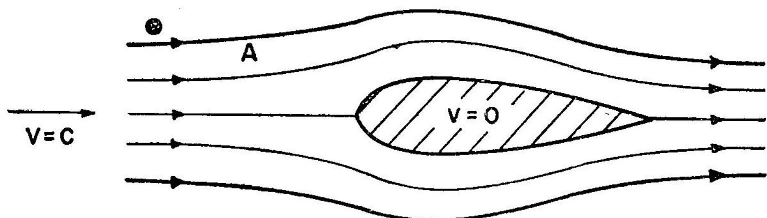
இந்தத் திசைவேக மாறுபாடு 20 விநாடிகளில் ஏற்படுகிறது.

எனவே, இடஞ்சார்ந்த முடுக்கம் $=\frac{56{\cdot}6}{20}=2{\cdot}83$ செமீ/வி²

மொத்த முடுக்கம் $=170+2{\cdot}83=172{\cdot}83$ செமீ/வி².

3·19. நிலையற்ற இயக்கம் (Unsteady Motion)

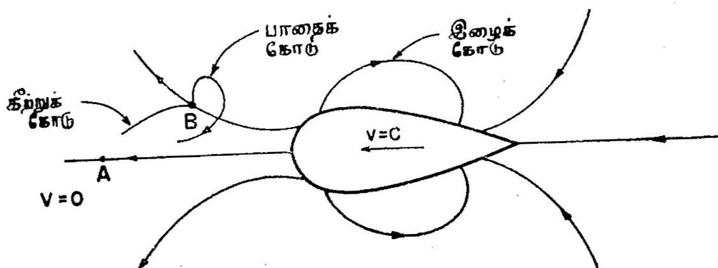
பாய்ம இயக்கத்தில் ஒரு புள்ளியில் நிலையற்ற தன்மையானது அந்தப் புள்ளியிலுண்டாகும் திசைவேக மாறுபாட்டாலும் அல்லது இடஞ்சார்ந்த உலைவாலும் (local disturbance) ஏற்படக்கூடும். நிலையற்ற தன்மை திசைவேக மாறுபாட்டால் ஏற்பட்டால், இயக்கத்தின் திசையில் மாறுபாடு இராது; ஆனால் திசைவேக



படம் 3·25. ஒரு நிலையான வடிவத்தைச் சுற்றிப் பாய்ச்சல்

மானது நேரத்திற்கு நேரம் அளவில் மாறும். நிலையற்ற தன்மை உலைவால் ஏற்பட்டால், திசைவேகத்தின் திசையும், அளவும் மாறிக் கொண்டே இருக்கும். இந்த இரண்டு வகைகளாலும் ஏற்படும் நிலையற்ற தன்மைகளை படம் 3·25-ல் உள்ள அமைப்பால் விளக்கலாம். அந்த அமைப்பானது நிலையாக இருக்கும்போது, அதைச்

சுற்றி ஓடும் பாய்மத்தால் ஏற்படும் இழைக் கோடுகள் காட்டப் பட்டுள்ளன. A என்ற புள்ளியில் திசைவேகத்தின் அளவு அந்த அமைப்பைச் சுற்றிப் பாயும் பாய்மத்தின் பாயுவீதம் மாறினுலே மாறும். இப்போது பாதைக் கோடு, இழைக் கோடு, கீற்றுக் கோடு ஆகிய மூன்றும் ஒன்றேயாகும்.



படம் 3·26. நகரும் பொருளைச் சுற்றிய நிலையற்ற பாய்ச்சல்

இதே அமைப்பானது படம் 3·26-ல் உள்ளபடி நிலையான பாய்மத்தின் ஒரே வேகத்தில் செல்லுமாஞல், A, B என்ற புள்ளிகளில் திசைவேகங்களின் அளவும், திசையும் நேரத்திற்கு நேரம் மாறுபடும். திசைவேகத்தின் அளவும், திசையும் அந்த அமைப்பு பாய்மப் புலத்தில் இருக்கும் இடத்தைப் பொறுத்தது. இழைக் கோடுகளின் அமைப்பு படம் 3·26-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த நிலையற்ற இயக்கத்தில் பாதைக் கோடு, கீற்றுக் கோடு ஆகியவைகள் இழைக் கோட்டிலிருந்து வேறுபட்டிருக்கும். பாதைக் கோடு கீற்றுக் கோடுகளின் தோராயமான இடஅமைப்புகள் அந்தப் படத்தில் உள்ளன. இந்த நிலையற்ற தன்மையை ஒப்புத் திசைவேக முறைப்படி நிலையான தன்மைக்குக் கொண்டுவர முடியும். அந்த அமைப்பை ஒரு இடத்தில் இருத்தி, அதன் முன்னைய திசைவேகத்திற்கு எதிரான ஆனுல் சமமான திசைவேகத்தை அதைச் சுற்றியுள்ள பாய்மத்திற்கு அளிக்கவேண்டும். இம்முறை முன்னரே விளக்கப்பட்டுள்ளது.

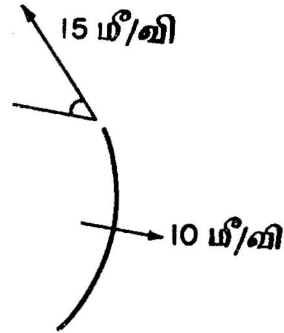
பயிற்சிக் கணக்குகள்

3·1. ஒரு புகைவண்டித் தொடர் தெற்கு நோக்கி மணிக்கு 40 கிமீ வேகத்தில் செல்கிறது. தென்கிழக்கு நோக்கியுள்ள காற்றின் வேகம் 15 கிமீ/மணி. அந்த வண்டித் தொடரிலுள்ள ஒரு நபருக்குக் காற்று எந்தத் திசையிலிருந்து வருவது போலத் தோன்றும்?

3·2. கிழக்கு நோக்கி 35 கிமீ/மணி வேகத்தில் செல்லும் ஒரு புகைவண்டித் தொடரிலிருந்து வரும் புகை வடக்கு—

மேற்குத் திசையில் செல்கிறது. காற்றின் தனித் திசை வேகம் வடக்கு நோக்கி இருக்குமானால், புகை போக்கியி லிருந்து வரும் புகையின் ஒப்புத் திசைவேகம் என்ன?

3·3. ஒரு வளைந்த தகடு (curved vane) நிலையாக இருக்கும் போது அதிலிருந்து நீரானது 15 மீ/வி வேகத்தில் வெளி வருகிறது. அந்தத் தகடு படத்திலுள்ளபடி 10 மீ/வி திசைவேகத்தில் நகருமானால், அந்தத் தகட்டிலிருந்து வெளிவரும் நீரின் தனித் திசைவேகம் என்ன?

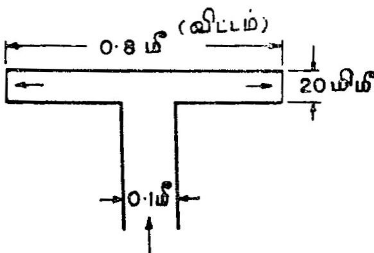


3·4. மழை நீர்த்துளிகள் 6 மீ/வி வேகத்தில் செங்குத்தாக விழுகின்றன. 30 கிமீ/மணி வேகத்தில் காரில் கிடைத் தளத்தில் செல்லும் ஒரு நபருக்கு அந்த மழைத் துளி களின் திசை எவ்வாறு தோன்றும்?

3·5. ஒரு நீர் அடைப்பின் (lock) குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பு 300 மீ^{2} ஆகும். நீர்மட்டத்திற்குக் கீழ் 65 மீ^{2} குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள ஒரு கப்பல் அந்த நீர் அடைப்பில் 1·4 மீ/வி வேகத்தில் நகர்ந்து சென்றால், நீரில் ஏற்படும் வேகம் என்ன?

3·6. 200 மிமீ விட்டமுள்ள ஒரு குழாய் 120 மிமீ, 100 மிமீ விட்டங்களுள்ள இரண்டு குழாய்களாகப் பிரிகிறது. 200 மிமீ விட்டமுள்ள குழாயின் வழியாகப் பாயுவீதம் 100 லி/வி என்றால், அந்த இரண்டு கிளைக்குழாய்களில் திசைவேகங்கள் சமமெனக் கொண்டு, அவற்றின் பாயு வீதத்தைக் காண்.

3·7. 100 மிமீ குழாயின் முடிவில் படத்திலுள்ள அமைப்பு பொறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. அந்தக் குழாயில்பாயுவீதம் 1 மீ^{3}/வி ஆனால், அந்த அமைப்பின் முடிவிலுள்ள திசைவேகம் என்ன?



3·8. ஒரு ஆற்றில் திசைவேகமானியால் (current meter) கீழ்க்கண்ட திசைவேகங்கள் குறிப்பிட்டுள்ள ஆழங்களில் அளக்கப்பட்டுள்ளன.

நீர்மட்டத்திலிருந்து ஆழம்	திசைவேகம் மீ/வி
0·5 மீ	2·0
1·0 மீ	1·9
1·5 மீ	1·7
2·0 மீ	1·5
2·5 மீ	1·3
3·0 மீ	1·1

அந்த இடத்தில் மொத்த ஆழம் 3·5 மீ ஆக இருக்குமானுல், 1 மீ அகலத்தில் ஏற்படும் பாயுவீதம் என்ன ?

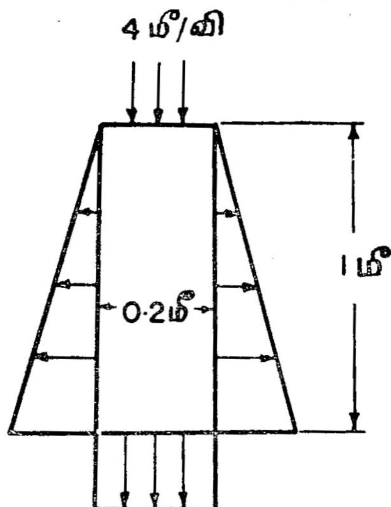
3·9. ஒரு 200 மிமீ குழாயின் முடிவில் பல துளைகளையுடைய ஒரு அரைக்கோளம் பொறுத்தப்பட்டுள்ளது. அத்துளைகளின் வழி திசைவேகம், 200 மிமீ குழாயிலுள்ள திசைவேகத்தில் 80 சதவீதமாக இருக்க வேண்டுமானுல், 10 மிமீ விட்டமுள்ள துளைகள் எத்தனை வேண்டும் ?

3·10. திசைவேகப் பகிர்வு பரவளைவுள்ளதாக இருக்கிறதெனக் கொண்டு 2 லி/வி பாயுவீதமுள்ள போது, 150 மிமீ விட்டமுள்ள குழாயின் நடுவில் திசைவேகம் என்ன எனக் கணக்கிடு.

3·11. ஒன்றுக்கொன்று 0·3 மீ தூரத்திலுள்ள இரு பரிமாண இணைத்தளங்களுக்கிடையிலுள்ள பாய்ச்சல் பாவளைத் திசைவேகப் பகிர்வுடையது. அதன் நடுவிலுள்ள திசைவேகம் 0·5 மீ/வி ஆனுல், 1 மீட்டர் அகலத்திற்குப் பாயுவிதம் என்ன ?

3·12. 300 மிமீ விட்டமுள்ள குழாயில் பொறுத்தப்பட்டுள்ள வெஞ்சுரிமானியின் தொண்டை விட்டம் 200 மிமீ ஆகும். அதன் வழி பாயும் பாய்மத்தின் வீதம் 250 லி/வி யானுல், அந்த வெஞ்சுரிமானியின் நுழைவாயிலும், தொண்டையிலும் திசைவேகங்கள் என்ன ?

3·13. 200 மிமீ விட்டமுள்ள செங்குத்தான குழாயின் மேற் பாகத்தின் வழியாக 4 மீ/வி வேகத்தில் படத்திலுள்ளபடி நீர் நுழைகிறது. குழாயின் சுவர்களின் வழியாகவும் நீர் வெளிப்படுமாளுல், குழாயின் இறுதியில் வெளிப்படும் திசை வேகம் என்ன? இலட்சியப் பாய்ச்சல் எனக்கொள்க.



3·14. கீழ்க்கண்ட ஓட்டங்களுக்கு இரண்டு உதாரணங்கள் கொடுக்கவும்: (1) நிலையற்ற, சீரற்ற ஓட்டம் (2) நிலையான, சீரற்ற ஓட்டம்.

3·15. ஒரு இரு பரிமாண, அமுக்கமற்ற ஓட்டத்தில் x-திசை வேகக் கூறு $u=3x-y$. தொடர்ச் சமன்பாட்டைப் பயன் படுத்தி y திசைவேகக் கூறைக் காண்.

3·16. கீழ்க்கண்ட திசைவேகப் புலங்கள் சுழற்சியற்ற பாய்ச்சலைக் குறிக்குமா எனக் காண்.

(அ) $u=x+y$

$y=x-y$

(ஆ) $u=-\dfrac{cx}{y}$

(இ) $v=c \log_e xy$

3·17. கீழ்க்கண்டவற்றிற்கு சர்க்குலேஷனைக் கணக்கிடு. (அ) திணிச்சுழல் $v=kr$ (ஆ) கட்டற்ற சுழல் $v=(k/r)$.

3·18. கீழ்க்கண்ட இழைச் சார்புகள் சுழற்சியற்ற ஓட்டங்களைக் குறிக்குமா எனக் காண்.

(அ) $\psi = Ay + Bx^2$
(ஆ) $\psi = Ax^2y^2$
(இ) $\psi = A \cos xy$

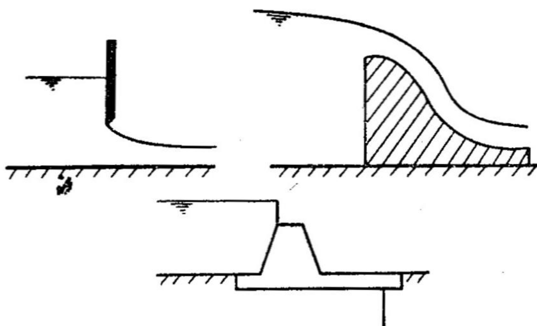
3·19. கீழ்க்கண்ட அழுத்தச் சார்புகளுக்கு u, v கூறுகளின் மதிப்பைக் கணக்கிடு :

(அ) $\phi = x + y$
(ஆ) $\phi = Ax^2 + By^2$
(இ) $\phi = \log_e (x + y)$

3·20. கணக்கு 3·19-ல் u, v களின் மதிப்பை (1,1), (3,6), (4,0) என்ற புள்ளிகளில் காணவும்.

3·21. $\phi = c(x^2 - y^2)$ என்பது பாய்மப் பாய்ச்சலைக் குறிக்குமானால், ψ-யின் மதிப்பு என்ன ?

3·22. கீழ்க்கண்ட அமைப்புகளுக்குப் பாய்ச்சல் வலையை வரைக.



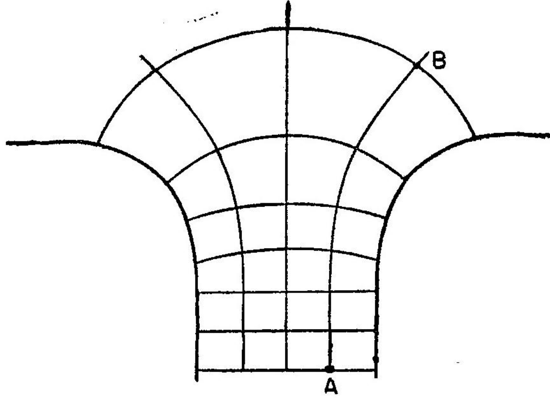
(சிற்றணையின் அடிப்பாகத்தில் பாய்ச்சல் வலையை வரைக.)

3·23. 200 மிமீ விட்டமுள்ள செங்குத்தான நீர்த்தாரை ஒரு கிடைத்தளத்தின் மேல் 5 மீ/வி திசைவேகத்தில் விழுந்து எல்லாப் பக்கங்களிலும் சீராகப் பரவுகிறது. மத்தியிலிருந்து 0·6 மீ தூரத்தில் திசைவேகம் 1 மீ/வி யானால், பாய்ச்சல் வலையை வரைக.

3·24. 90° வளைவுக் குழாய்க்கு சுழற்சியற்ற ஓட்டத்திற்குப் பாய்ச்சல் வலையை வரைக.

3·25. ஒரு பரிமாண ஓட்டமாகக் கொண்டு, 0·4 மீ விட்டமுள்ள குழாயின் பாய்ம ஓட்டத்தை 4 இழைக் குழாய்களாகப் பிரித்தால், மத்தியிலுள்ள இழைக் குழாயின் விட்டம் என்ன ?

3·26. வளைந்த நுழைவாயிலையுடைய இரு பரிமாண குழாய் அமைப்பு படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. A என்ற



புள்ளியில் திசைவேகம் 1 மீ/வி என்றால், B என்ற புள்ளியில் திசைவேகம் என்ன ?

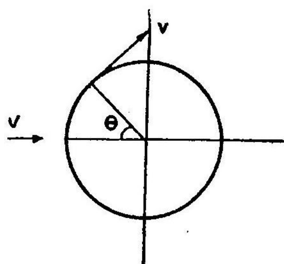
3·27. கணக்கு 3·26-ல் *V* என்ற திசைவேகத்திற்கும், எல்லைத் திசைவேகத்திற்குமுள்ள விகிதத்தைக் கணக்கிட்டு வரைபடமாக வரைக.

3·28. 0·35 மீ நீளமுள்ள ஒரு முனையின் (nozzle) இரு பக்கங்களிலுமுள்ள விட்டங்கள் 50 மிமீ, 20 மிமீ ஆகும். அதன் வழி 1 லி/வி பாயுவீதம் நிகழுமானால், அந்த முனையின் தொடக்கத்திலும், இறுதியிலும் சலன முடுக்கங்களின் மதிப்புகளைக் கணக்கிடு.

3·29. 20 மீ ஆரமுள்ள தள்ளி எறியும் அமைப்புள்ள (flip bucket) ஒரு வழிகால் (spillway) வழியாக ஒரு மீட்டர் அகலத்தில் 3 மீ^{3}/வி அளவிற்கு நீர் பாய்கிறது. நீரின் ஆழம் 0·3 மீ ஆக இருக்குமானால் நேர்குத்து முடுக்கம் என்ன ?

3·30. 100 மிமீ × 60 மிமீ அளவுள்ள ஒரு குட்டையான சுருக்கத்தின் (reducer) ஆரம்பத்தின் அதன் ஆரம் 200 மிமீ. ஆகும். நேர்குத்து முடுக்கம், புவியீர்ப்பு முடுக்கத்திற்குச் சமமாக இருக்கவேண்டுமானால், பாயுவீதம் என்ன ?

3·31. ஒரு உருளையின் சுற்றுப்பரப்புத் திசைவேகம் $v = 2V \sin \theta$ ஆகும். அணுகு திசைவேகமான V-யின் மதிப்பு 2 மீ/வி-ஆக இருக்கும்போது, 0·2 மீ விட்டமுள்ள உருளையில் $\theta = 30°$ உள்ள இடத்தில் (அ) நேர்குத்து முடுக்கம் (ஆ) தொடுகோட்டு முடுக்கம் என்ன ?



4. பாய்ம இயக்கவிசையியல்
(Fluid Dynamics)

4·1. முன்னுரை

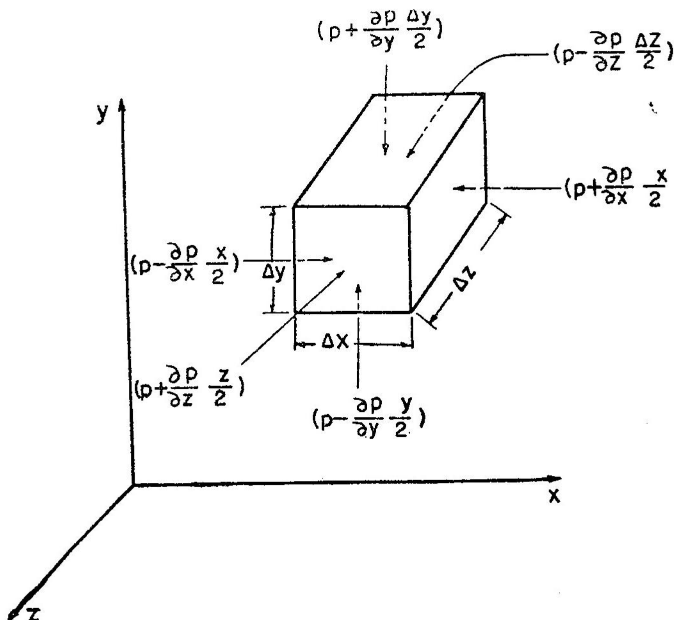
பாய்ம இயக்கத்தால் உண்டாகும் திசைவேகம், முடுக்கம் முதலியவை பற்றி முன் அத்தியாயத்தில் படித்தோம். இந்த அத்தியாயத்தில் பாய்ம இயக்கத்திற்குத் தேவையான புற, அக விசைகளைப் பற்றியும், ஆற்றல் இழப்புகளைப் பற்றியும் படிப்போம். முதலில் முப் பரிமாண, பாகுநிலையற்ற, அமுக்கமற்ற பாய்ச்சலுக் கான ஆய்லர் சமன்பாட்டை வருவித்த பின்னர், அதிலிருந்து பெர்னூலி ஆற்றல் சமன்பாட்டை உய்த்து(deduce)ணர்வோம். பெர்னூலி ஆற்றல் சமன்பாடு ஆற்றல் அழிவின்மைக் கொள்கையின் அடிப்படையிலும் தனியாக வருவிக்கப்பட்டுள்ளது. அழுத்தத் திற்கும் திசைவேகத்திற்குமுள்ள தொடர்பு, ஒரு துளையிலிருந்து வெளிவரும் தாரை பற்றிய விவரங்கள், தாரையின் பாதையை நிர்ணயித்தல் போன்ற சிலவற்றை எப்படி பெர்னூலி தேற்றத்தி லிருந்து அடையலாம் என்பதும் விளக்கப்பட்டுள்ளன. பின்னர் உந்தச் சமன்பாடு வருவிக்கப்பட்டு, அதன் பயன்களும் விவரிக்கப் பட்டுள்ளன. இந்த அத்தியாயத்தின் முடிவில் சுழல்களில் சில பண்புகள் வருவிக்கப்பட்டுள்ளன.

பாய்மம் பாகுநிலையற்றது என நாம் எடுத்துக் கொண்டுள்ள தால், பாய்ம இயக்கத்தில் தடை (resistance) அதாவது உராய்வு (friction) ஏற்படுவதில்லை; அமுக்கமற்றதால் வெப்பத்தாலும், அழுத்ததாலும் அதன் அடர்த்தி மாறுபடுவதில்லை. ஆகவே, இந்த அத்தியாயத்தில் பொதுவாகத் தடையற்ற, அமுக்கமற்ற பாய்மம் அதாவது இலட்சிய பாய்மம் பற்றிய இயக்கங்களை ஆராய்வோம். ஆற்றல் சமன்பாட்டை விளக்கும் போது, ஆற்றலிழப்பால் அந்தச் சமன்பாடு எவ்வாறு மாறுபடும் என்பதும் காட்டப்பட்டுள்ளது. இலட்சிய பாய்ம இயக்க (ideal fluid motion) அடிப்படையில் வருவிக்கப்பட்ட பல உண்மைகள், மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங்களுக்கு

(real fluid flow) செல்லும்படியாகுமாதலால் இந்த அத்தியாயத்தில் நாம் படிப்பது பல பொறியியற் வடிவமைப்புகளுக்குப் பெரிதும் பயன்படும். அத்தியாயம் 8-ல் எல்லைகளின் ஓரங்களைத் தவிர மற்ற பகுதிகளிலுள்ள இயக்கங்களுக்கு இலட்சிய பாய்ம இயக்கத்திற் கான கொள்கைளைப் பயன்படுத்தலாம் என்ற உண்மை விளக்கப் பட்டுள்ளது. மேலும் அத்தியாயம் 10-ல், சாதாரணப் பாய்ம ஓட்டங் களின் வேகம் ஒலி வேகத்திற்கு மூன்றில் ஒரு பங்கிற்கும் குறைவாக இருக்கும்போது அடர்த்தி வேறுபாடுகளைப் புறக்கணித்து விடலாம் என்பதும் நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது. ஆகவே, நாம் இந்த அத்தி யாயத்தில் தடையையும், அமுக்கத்தையும் புறக்கணிப்பது பல நீரியற் பொறியியற் அமைப்புகளைக் கணிப்பதற்கான வேலைகளை இலகுவாக்குவதோடன்றி, இந்தத் தற்கோள்கள் உண்மை நிலையி லிருந்து அதிகமாக மாறுபட்டிராது எனவும் கொள்ளலாம்.

4·2. இயக்கச் சமன்பாடுகள் (Equations of Motion)

பாய்ம இயக்கத்தில் தொழிற்படும் விசைகளின் அடிப்படை யில், அவ்வியக்கத்திற்கான சமன்பாட்டை வருவிக்க Δx, Δy, Δz



படம் 4·1. தனிமத்தில் தொழிற்படும் புறவிசைகள்

என்ற பக்கங்களையுடைய ஒரு சிறிய இணைகரத்தின் திண்மத்தை (parallelopiped) எடுத்துக்கொள்வோம். அந்தத் தனிமம் முடுக்கத்

திற்குள்ளாகும்போது அதில் நிலைவிசைகளும்(static forces), அதன் எடையும் தொழிற்படுகின்றன. அந்தத் தனிமத்தின் மையத்தில் அடர்த்தி ρ ஆகவும், அழுத்தம் p ஆகவும் இருக்குமானால், x-திசையில் தொழிற்படும் அழுத்த விசையானது,

$$\left(p-\frac{\partial p}{\partial x}\frac{\triangle x}{2}\right)\triangle y\,\triangle z-\left(p+\frac{\partial p}{\partial x}\frac{\triangle x}{2}\right)\triangle y\,\triangle z$$

$$=-\frac{\partial p}{\partial x}\triangle x\,\triangle y\,\triangle z$$

அதேபோல் y-, z-திசைகளில் முறையே

$$-\frac{\partial p}{\partial y}\triangle x\,\triangle y\,\triangle z$$

$$-\frac{\partial p}{\partial z}\triangle x\,\triangle y\,\triangle z$$

எனவே, அந்தச் சிறிய தனிமத்தில் தொழிற்படும் நிகர அழுத்த விசையானது, அந்தத் திசையிலுள்ள அழுத்தச் சரிவு, அந்தத் தனிமத்தின் கனஅளவு ஆகிய இரண்டின் பெருக்குத் தொகைக்குச் சமம். g புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தைக் குறிக்குமானால், அத்தனிமத்தின் எடைக் கூறுகள் x-, y-, z-திசைகளில் முறையே $g_x\,\rho\triangle x\,\triangle y\,\triangle z$, $g_y\,\rho\triangle x\,\triangle y\,\triangle z$, $g_z\,\rho\triangle x\,\triangle y\,\triangle z$ ஆகும்.

இப்போது நியூட்டனின் இரண்டாவது இயக்க விதிப்படி, அத்தனிமத்தில் எந்தத் திசையிலும் ஏற்படும் உந்த வேறுபாடு அந்தத் திசையிலுள்ள முடுக்கத்திற்கும், அத்தனிமத்தின் பொருண்மைக்குமுள்ள பெருக்குத் தொகைக்குச் சமமானதால், x-திசையில்

$$-\frac{\partial p}{\partial x}\triangle x\,\triangle y\,\triangle z+g_x\,\rho\,\triangle x\,\triangle y\,\triangle z=\frac{d}{dt}\,(\rho\triangle x\,\triangle y\,\triangle z)u$$

இதில் u என்பது x-திசையில் திசைவேகத்தின் கூறுகும். மேலே உள்ள சமன்பாட்டைச் சுருக்கினால்,

$$g_x-\frac{1}{\rho}\frac{dp}{dx}=\frac{du}{dt}$$

இதே போல் y-, z-திசைகளில் முறையே,

$$g_y-\frac{1}{\rho}\frac{dp}{dy}=\frac{dv}{dt}$$

$$g_z-\frac{1}{\rho}\frac{dp}{dz}=\frac{dw}{dt} \qquad (4{\cdot}1)$$

இந்த மூன்று வகையீட்டுச் சமன்பாடுகளும் (differential equations) முதற்கண் அவற்றை வருவித்த சுவிட்ஸர்லாந்து நாட்டுக் கணித மேதை ஆய்லரின்(Euler) பெயரால் வழங்கப்படுகின்றன. நிலையாக இருக்கும் பாய்மத்தில் இச் சமன்பாடுகளின் வலது பக்கம் சுழி யாகிறது ; அவைகள் நீர் நிலையியல் சமன்பாடு(hydrostatic equations)களாகின்றன.

திசைவேகக் கூறுகள் u, v, w என்ற ஒவ்வொன்றும் $x, y, z, t,$ என்பனவற்றைச் சார்ந்திருப்பதால் அவற்றின் மொத்த வகையீடுகளைக் (total differentials) கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம். முறையே,

$$\frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z}$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z}$$

$$\frac{dw}{dt} = \frac{\partial w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z}$$

ஆகவே, ஆய்லர் சமன்பாடானது முழுமையான வடிவத்தில்,

$$g_x - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial t} + v\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z}$$

$$g_y - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z}$$

$$g_z - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\partial w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z} \qquad (4{\cdot}2)$$

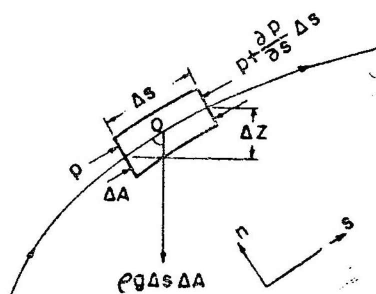
மேலே உள்ள சமன்பாடுகளை அமுக்க, அமுக்கமற்ற பாய்ச்சல் களுக்குப் பயன்படுத்தலாம். ஆய்லரின் இயக்கச் சமன்பாடுகள் தொடர்ச் சமன்பாடு ஆகிய மொத்தம் நான்கு சமன்பாடுகளையும் கொண்டு, u, v, w, p என்ற நான்கு தெரியாதவற்றின் (unknown) மதிப்புகளைக் கண்டறியலாம். எனினும், இச்சமன்பாடுகள் நேர் போக்கற்றவைகளாக (non-linear) இருப்பதால், அவற்றை ஒரு சில குறிப்பிட்ட நிலைமைகளுக்கு மட்டுமே பயன்படுத்தி எளிதில் விடை காண முடிகிறது.

ஆய்லர் சமன்பாட்டிலிருந்து நிலையான, சுழற்சியற்ற, அமுக்க மற்ற பாய்ச்சலுக்கான பெர்னௌலிச் சமன்பாட்டை (Bernouilli's equation) அடையலாம். இந்த நூலில் பாய்மப் பாய்ச்சலை ஒரு

பரிமாண அடிப்படையில் ஆய்வதால், முதற்கண் ஒரு இழைக் கோட்டில் ஆய்லர் சமன்பாட்டை வருவித்து அதிலிருந்து பெர்னூலிச் சமன்பாட்டை அடைவோம்.

4·3. ஒரு இழைக் கோட்டில் இயக்கச் சமன்பாடு (Equation of Motion Along a Stream line)

ஒரு பாய்மப் பாய்ச்சல் புலத்திலுள்ள இழைக் கோட்டில் $\triangle A$ குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ளதும் $\triangle s$ நீளமுள்ளதுமான ஒரு சிறிய தனிமத்தை எடுத்துக் கொள்வோம். ஒரு குறிப்பிட்ட நொடியில் அந்தத் தனிமத்தின் முடுக்கம் அந்த இழைக் கோட்டிற்கு அதன் இருப்பிடமான O–வி லுள்ள தொடுகோட்டுத் திசை யான s-ல், a_s-ஆக இருக்கட் டும். இந்தப் பாய்மம் பாகு நிலையற்றது என எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டுள்ளதால், இந் தத் தனிமத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவுகள் செயல் படா. இந்தத் தனிமத்தில் செயல்படும் புற விசைகள் அதன் எடையும், அதன் இரு ஓரங்களிலுமுள்ள அழுத்த விசைகளேயாகும். அந்தத் தனிமம் செல்லும் திசையில் எடையின் கூறுனது $-\rho g\triangle A\ \triangle s\cos\theta$ ஆகும். (படம் 4·2-ஐப் பார்க்க.) அழுத்த விசைகளான $p\triangle A$, $\left(p+\frac{\partial p}{\partial S}\triangle s\right)\triangle A$ முதலிய வற்றால் ஏற்படும் நிகர விசையானது



படம் 4·2. இழைக் கோட்டிலுள்ள தனிமத்தில் விசைகள்

$$p\triangle A-\left(p+\frac{\partial p}{\partial s}\triangle s\right)\triangle A=-\frac{\partial p}{\partial s}\triangle A\ \triangle s$$

நியூட்டனின் இரண்டாவது சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி,

$$-\frac{\partial p}{\partial s}\triangle s\ \triangle A-\rho g\ \triangle A\ \ \triangle s\cos\theta\ =\rho\ \triangle s\ \triangle A\ a_s$$

(அழுத்த விசை) (தனிம விசை) (சடத்துவ விசை)

இதில் a_s என்பது இழைக் கோட்டில் தனிமத்தின் முடுக்கமாகும். மேலேயுள்ள சமன்பாட்டை $\rho\ \triangle A\ \triangle s$-ஆல் வகுத்தால்,

$$\frac{1}{\rho}\ \frac{\partial p}{\partial s}+g\cos\theta+a_s=0$$

இப்போது $\cos\theta = \frac{\Delta z}{\Delta s}$. சமன்பாடு 3·24-லிருந்து,

$$a_s = \frac{\partial V}{\partial t} + V\frac{\partial V}{\partial s}$$

எனவே,

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V\frac{\partial V}{\partial s} + g\frac{\partial z}{\partial s} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial s} = 0 \qquad (4{\cdot}3)$$

இது ஒரு பரிமாண ஓட்டத்திற்கு இழைக் கோட்டிலான ஆய்லர் இயக்கச் சமன்பாடாகும்.

ஓட்டமானது நிலையானதாக இருக்குமானால் $\frac{\partial V}{\partial t} = 0$. மேலும் V, z, p, ρ என்பன s என்பதில் சார்பாக மட்டும் இருப்பதால் சமன்பாடு 4·3-ஐக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\frac{dp}{\rho} + g\,dz + V\,dV = 0 \qquad (4{\cdot}4)$$

சமன்பாடு 4·4, ஒரு இழைக் கோட்டில் நிகழும் நிலையான, பாகு நிலையற்ற பாய்ச்சலைக் குறிக்கும். இதில் p என்பது ρ-ஐச் சார்ந்தது என்பது நோக்கற்பாலது. ஆகவே, சமன்பாடு 4·4 அமுக்கப் பாய்ச்சலுக்கும் செல்லும்.

4·4. பெர்னூலிச் (Bernouilli's) சமன்பாடு

சமன்பாடு 4·4-ஐத் தொகையிட்டால்,

$$\int\frac{dp}{\rho} + gz + \frac{V^2}{2} = \text{மாறிலி}$$

இதில் p-க்கும் ρ-க்கும் சம்பந்தம் இல்லாவிட்டால், அதாவது பாய்ச்சலானது அமுக்கமற்றதாக இருக்குமானால்,

$$\frac{p}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gz = \text{மாறிலி} \qquad (4{\cdot}5)$$

இதுவே பெர்னூலிச் சமன்பாடாகும். இதிலுள்ள தொகையீட்டு மாறிலி (integration constant) இழைக் கோட்டிற்கு இழைக் கோடு மாறும். ஆகவே, இச்சமன்பாடு ஒரு இழைக் கோட்டிற்கு மட்டுமே பொருந்தும். இரு வேறு இழைக் கோடுகளிலுள்ள புள்ளிகளுக் கிடையே இதைச் செயல் படுத்த முடியாது.

இந்தச் சமன்பாடு ஒரு பாய்ச்சல் புலம் முழுவதும் பொருந்து மாறு இருப்பதற்குத் தேவையான நிபந்தனைகள் யாவை என இனிப் பார்ப்போம்.

ஆய்லர் சமன்பாட்டை படம் 4·2-ல் உள்ளபடி. தொடு கோட்டுத் திசைக்கு நேர்குத்துத் திசையில் எடுத்துக்கொண்டால்,

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial n}+g\frac{\partial z}{\partial n}+a_n=0 \qquad (4{\cdot}6)$$

இதில் n என்பது இழைக் கோட்டிற்கு நேர்குத்தான திசையைக் குறிக்கும். a_n என்பது இழை நேர்குத்தாக நிகழும் மொத்த, முடுக்கத்தைக் குறிக்கும். சமன்பாடு 3·24-ஐ பயன்படுத்தி,

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial n}+g\frac{\partial z}{\partial n}=-\left(\frac{\partial V_n}{\partial t}+\frac{V^2}{r}\right)$$

மேலேயுள்ள சமன்பாட்டை நேரடியாகத் தொகையிட முடியாது. ஆகவே, அதன் இரு பக்கங்களிலும் $\dfrac{\partial\left(\frac{V^2}{2}\right)}{\partial n}$ என்ற உறுப்பை கூட்டுக்கொண்டு, நிலையான பாய்ச்சலை எடுத்துக் கொண்டால்,

$$\left(\frac{\partial V_n}{\partial t}=0\right)$$

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial n}+g\frac{\partial z}{\partial n}+\frac{\partial\left(\frac{V^2}{2}\right)}{\partial n}=-\frac{V^2}{r}+\frac{\partial\left(\frac{V^2}{2}\right)}{\partial n}$$

படம் 3·23-லிருந்து,

$$\frac{V^2}{r}=V\frac{\partial V_n}{\partial s}$$

எனவே,

$$\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial n}+g\frac{\partial z}{\partial n}+\frac{\partial\left(\frac{V^2}{2}\right)}{\partial n}=-V\frac{\partial V^n}{\partial s}+V\frac{\partial V}{\partial n} \qquad (4{\cdot}7)$$

சமன்பாடு 4·7-ன் வலது பக்கம் பாய்ச்சலின் சுழற்சித் தன்மையைக் (vorticity) குறிக்கும். இந்தச் சமன்பாட்டில் வலது பக்கம் சுழியானுல்தான் இதைத் தொகையிட முடியும். அதாவது

$$\frac{\partial V_n}{\partial s}-\frac{\partial V}{\partial n}=0$$

ஆகவே, பாய்ச்சலானது சுழற்சியற்றதாகவும் (irrotational), அமுக்கமற்றதாகவும் (incompressible) இருக்குமானுல், n-திசையில் தொகையீடானது,

$$\frac{p}{\rho}+\frac{V^2}{2}+gz=\text{மாறிலி} \qquad (4{\cdot}8)$$

சமன்பாடு 4·8-ஐக் கீழ்க்கண்டவாறும் எழுதலாம்.

$$\frac{p}{w}+\frac{V^2}{2g}+z=\text{மாறிலி} \qquad (4{\cdot}9)$$

$$p+\rho\frac{V^2}{2}+wz=\text{மாறிலி} \qquad (4{\cdot}10)$$

ஆகவே, பெர்னுலிச் சமன்பாட்டின் பல அமைப்புகள் நிலையான, உராய்வற்ற, அமுக்கமற்ற, சுழற்சியற்ற ஓட்டங்களுக்குப் பொருந்தும். பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தும்போது நாம் இந்த நான்கு தற்கோள்களையும் (assumption) மனதில் கொள்ள வேண்டும்.

சமன்பாடு 4·8-ல் உள்ள ஒவ்வொரு உறுப்பும் பரிமாணம் $\frac{L^2}{T^2}$ அதாவது அலகு $\frac{\text{மீ}^2}{\text{வி}^2}$ உடையது. இது கிகிஎ-மீ/கிகி (அல்லது நிமீ/கிகி)க்குச் சமம். ஆகவே, ஒவ்வொரு உறுப்பும் ஒரு அலகு பொருண்மைக்கான ஆற்றலாகும். இதேபோல் சமன்பாடு 4·9-ல் ஒவ்வொரு உறுப்பும் ஒரு அலகு எடைக்கான ஆற்றலையும் சமன்பாடு 4·10-ல் ஒரு அலகு பருமனளவுக்கான ஆற்றலையும் குறிக்கும்.

4·5. பெர்னுலிச் சமன்பாட்டின் முக்கியத்துவம்

சமன்பாடுகள் 4·8 முதல் 4·10 வரை பாய்ம ஓட்டத்தில் ஆற்றலின் அழியாத் தன்மையை விளக்குகின்றன. நாம் முன்னர் விளக்கிய நான்கு கட்டுப்பாடுகள் (restrictions) பெர்னுலிச் சமன்பாட்டிற்கு இருந்தபோதிலும் அது பொறியியற் கணக்குகளுக்கு விடை காணப் பயன்படுகிறது. அவைபற்றி பின்வரும் பகுதிகளில் பார்ப்போம். அமுக்கப் பாய்ச்சலுக்கான பெர்னுலிச் சமன்பாடு அத்தியாயம் 10-ல் வருவிக்கப்பட்டுள்ளது.

நீரியல் வல்லுநர்களால் பெரும்பாலும் பயன்படுத்தப்படும் கீழ்க்கண்ட அமைப்பில் பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைப்பற்றி மேலும் ஆராய்வோம்.

$$\frac{p}{w}+\frac{V^2}{2g}+z=\text{மாறிலி}$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலுள்ள மூன்று உறுப்புகளின் கூட்டுத் தொகை மாறிலியாகும். ஆகவே, இந்த உறுப்புகள் ஒரே பரிமாண முடையனவாக இருக்கவேண்டும். ஒவ்வொரு உறுப்பும் ஒரு அலகு எடையின் ஆற்றல் என விளக்கிக் காட்டமுடியுமானாலும்,

இவைகளின் பரிமாணம் நீளம் என்பது தெளிவு. முதல் உறுப்பானது

$$\frac{\frac{ML}{L^2T^2}}{\frac{ML}{L^3T^2}} = L$$

இதேபோல் இரண்டாவது, மூன்றாவது உறுப்புகளும் நீளத்தைப் பரிமாணமாக உடையன. ஆகவே, இந்த உறுப்புகளை முறையே அழுத்தத் தலைப்பு (pressure head), திசைவேகத் தலைப்பு (velocity head), மட்டத் தலைப்பு (elevation head) என்கிறோம். இவை மூன்றின் கூட்டுத் தொகை மொத்தத் தலைப்பு அல்லது மொத்த உயரம்(total head) என்று அழைக்கப்படுகிறது. அழுத்தத் தலைப்பு, மட்டத் தலைப்பு ஆகிய இரண்டின் கூட்டுத் தொகைக்கு குழாய்மானித் தலைப்பு அல்லது குழாய்மானி உயரம் (piezometric head) எனப் பெயர். குழாய்மானி உயரமானது $\left(\frac{p}{w}+z\right)=h$ ஆகும்.

பெர்னூலிச் சமன்பாட்டை இரண்டு புள்ளிகளிடையே பயன் படுத்தினால்,

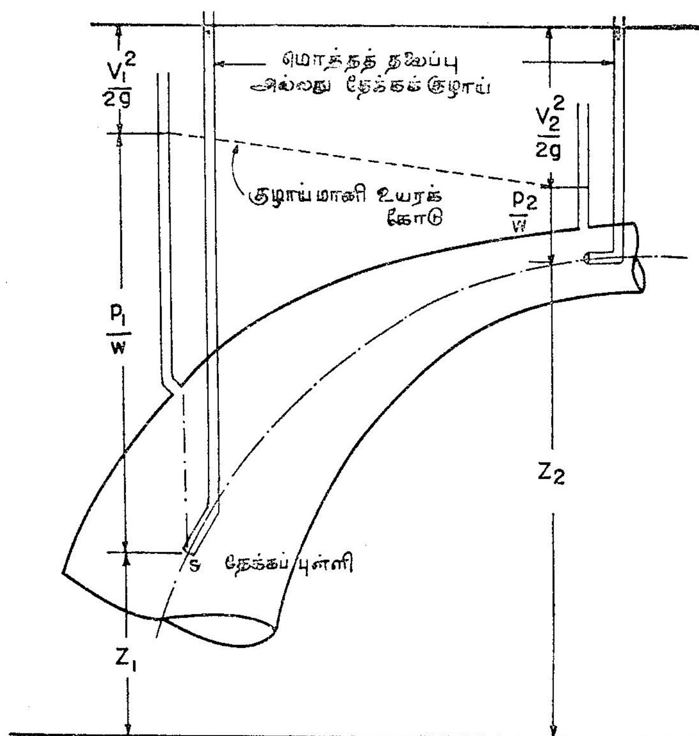
$$\frac{p_1}{w}+\frac{V_1^2}{2g}+z_1=\frac{p_2}{w}+\frac{V_2}{2g}+z_2$$

(அ-து)

$$\frac{p_1-p_2}{w}+(z_1-z_2)=\left(\frac{V_2^2}{2g}-\frac{V_1^2}{2g}\right) \qquad (4\cdot11)$$

மேலே உள்ள சமன்பாட்டிலிருந்து ஒரு அலகு எடையில் ஏற்படும் இயக்க ஆற்றலதிகரிப்பு, அந்த எடையில் தொழிற்படும் அழுத்த விசைகள், புவியீர்ப்பு விசை ஆகியவைகள் செய்யும் வினை (work) களின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம் எனத் தெரிகிறது. அதாவது அழுத்த, மட்ட ஆற்றல்கள் இயக்க ஆற்றலதிகரிப்பிற்குச் சமம் என்பது தெளிவு. ஆனால் அழுத்த ஆற்றல் என்பது அழுத்த வேறுபாடு (pressure difference) இருந்தால்தான் சாத்தியமாகும். எவ்வளவு அதிகப்படியான அழுத்தம் இருந்தபோதிலும், அழுத்த வேறுபாடு இல்லாவிட்டால், அந்த அழுத்தத்திலிருந்து நமக்குத் தேவையான ஆற்றலை அடைய முடியாது. ஆகவே, அழுத்த ஆற்றலை சில வேளைகளில் பாய்ச்சல் வினை (flow work) என்றும் கூறுகிறோம். அதாவது அழுத்த வேறுபாட்டால் பாய்ச்சல் நிகழ்ந்தால்தான்

ஆற்றல் வெளிப்படும் என்ற உண்மையைப் பாய்ச்சல் வினே என்ற சொற்ருெடர் விளக்குகிறது. இந்த அடிப்படையில் பெர்னுலிச் சமன்பாடானது ஆற்றலின் அழிவின்மைக் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி பகுதி 4·6-ல் வருவிக்கப்பட்டிருக்கிறது.



படம் 4·3. பெர்னுலிச் சமன்பாட்டின் விளக்கப் படம்

திரவத்தின் ஓட்டங்களேப்பற்றி படிக்கும்போது சமன்பாடு 4·9-ஐப் பயன்படுத்தினுல் வசதியாக இருக்கும். அதேபோல் சமன்பாடு 4·10 வாயுக்களின் ஓட்டங்களுக்குப் பயன்படுத்தப் படுகிறது. சமன்பாடு 4·10-ல் கடைசி உறுப்பின் மதிப்பு மிகக் குறைவாக இருக்குமாதலால் அதைப் புறக்கணித்து விடலாம். ஆகவே, வாயுக்களுக்கு

$$p_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} = p_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} \tag{4·13}$$

படம் 4·3-ல் பெர்னுலிச் சமன்பாடு தடையற்ற திரவப் பாய்ச்சலுக்கு வரைபடம் மூலம் விளக்கப்பட்டுள்ளது. OO என்ற கிடைக்

கோட்டை மட்ட அளவையாக (datum) எடுத்துக்கொள்வோம். வெட்டுமுகங்கள் 11, 22-களில் அழுத்தத் தலைப்புகளும் திசைவேகத் தலைப்புகளும் முறையான மின்னெட்டுக்களால் (suffix) குறிக்கப் பட்டுள்ளன. திரவமானது குழாய்மானிகளில் (piezometers) $\frac{p_1}{w_1}$, $\frac{p_2}{w}$ என்ற அளவிற்கு முறையே உயரும். இந்தக் குழாய் மானிகளிலுள்ள திரவத்தின் மேற்பரப்புகளின் நியமபாதை (locus) குழாய்மானித் தலைப்புக் கோடு (piezometric head line) என்று அழைக்கப்படுகிறது. அதேபோல் எல்லாப் புள்ளிகளிலும் மட்ட அளவிற்குமேல் $\left(\frac{p}{w}+\frac{V^2}{2g}+z\right)=H$ என்பதின் நியமபாதை மொத்த ஆற்றல் கோடாகும். திரவமானது குழாய்மானித் தலைப்புக் கோடுவரை குழாய்மானிகளிலும் மொத்த ஆற்றல் கோடுவரை தேக்கக் குழாய்களிலும் (stagnation tube) உயரும். குழாய்மானித் தலைப்புக் கோட்டை நீரியற் சரிவுக் கோடு (hydraulic gradient line) என்றும் அழைக்கிறோம். இந்தக் குழாய்மானித் தலைப்புக் கோடு எந்த அமைப்பிலும், மொத்த ஆற்றல் கோட்டிற்குக் கீழே திசைவேகத் தலைப்பின் அளவு தாழ்ந்து இருக்கும். ஆனல் குழாய்மானித் தலைப்புக் கோட்டின் சரிவு திரவம் பாயும் பாதையின் அமைப்பைப் பொறுத்தது.

முகப்பானது திசைவேகத்திற்கு நேர் எதிராக இருக்கும்படி வைக்கப்படும் எவ்வித சேதாரமும் இல்லாத வளைந்த குழாய்க்கு தேக்கக் குழாய் (stagnation tube) எனப் பெயர். இந்தக் குழாயின் முகப்பு (tip) தேக்க முனை என அழைக்கப்படுகிறது. தேக்கக் குழாய் அதன் முனையிலுள்ள நிலை அழுத்தம் (static pressure) இயக்கவிசை அழுத்தம் (dynamic pressure) ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகையை அளக்கப் பயன்படுகிறது. இதன் முனையில் திசைவேகம் சுழியாத லால், பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி,

$$\frac{ps}{w} + 0 = \frac{p}{w} + \frac{V^2}{2g} \qquad (4{\cdot}13)$$

தேக்க அழுத்தம் அல்லது மொத்தத் தலைப்பு	அழுத்தத் தலைப்பு	இயக்க விசை அல்லது திசைவேகத் தலைப்பு

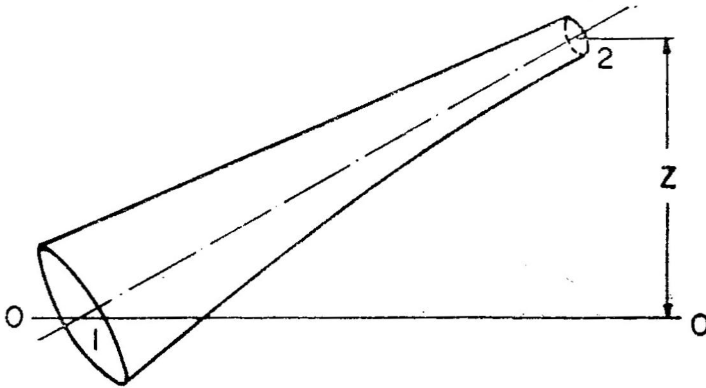
இதையே அழுத்தத் தலைப்பால் விளக்கினல்,

$$p_s = p + \tfrac{1}{2}\rho V^2 \qquad (4{\cdot}14)$$

தேக்க அழுத்தம்	நிலை அழுத்தம்	இயக்கவிசை அழுத்தம்

படம் 4·3-லிருந்து தேக்கக் குழாயில் திரவமானது மொத்தத் தலைப்புக் கோடுவரை உயருகிறது எனத் தெரிகிறது. மொத்தத் தலைப்பு அல்லது தேக்கத் தலைப்பை அளக்கத் தேக்கக் குழாய் ஒரு வசதியான, எளிய, மலிவான சாதனமாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 4·1. ஒரு குழாயானது 0·3 மீ விட்டத்திலிருந்து 0·1 மீ விட்டத்திற்குப் படிப்படியாகக் குறைகிறது. அதில் நீரின் பாயுவிதம் 50 லிட்டர்/வி. படத்திலுள்ளபடி அடிப்பாகத்தில் அழுத்தம் 2 கிகிஎ/செமீ² (196 கிநி/மீ²) ஆகும். மேற்பாகத்தில் வெட்டுமுகத்தில் அழுத்தம் 1 கிகிஎ/செமீ² (98·1 கிநி/மீ²)க்குக் குறையாமல் இருக்க வேண்டுமானால், z-ன் மதிப்பு என்ன?



$d_1 = 0{\cdot}3$ மீ

$d_2 = 0{\cdot}1$ மீ

$Q = 50$ லி/வி

$$V_1 = \frac{4Q}{\pi d_1^2} = \frac{4 \times 50000}{\pi \times 30^2} = 70{\cdot}7 \text{ செமீ/வி}$$

$$= 0{\cdot}707 \text{ மீ/வி}$$

$$V_2 = \left(\frac{0{\cdot}3}{0{\cdot}1}\right)^2 = 6{\cdot}363 \text{ மீ/வி}$$

$p_1 = 2$ கிகிஎ/மீ² $(= 196$ கிநி/மீ²$)$

$$\frac{p_1}{w} = 20 \text{ மீ நீர் உயரம்} \left(\because 1 \frac{\text{கிகிஎ}}{\text{செமீ}} = 10 \text{ மீ நீர் உயரம்} \right)$$

$$\frac{p_2}{w} = 10 \text{ மீ நீர் உயரம்}$$

பெர்னுலிச் சமன்பாட்டை 1, 2 புள்ளிகளுக் கிடையில் குழாயின் அச்சில் பயன்படுத்தினல்,

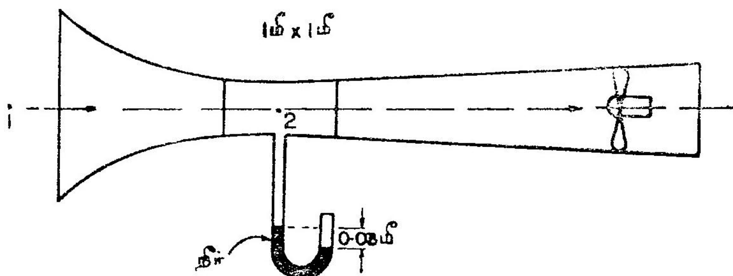
$$20+\frac{0\cdot707^2}{2\times9\cdot81}+0=10+\frac{6\cdot363^2}{2\times9\cdot81}+z$$

$$20+0\cdot025+0=10+3\cdot24+z$$

$$\therefore\ z=6\cdot785 \text{ மீ.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 4·2. ஒரு திறந்த வெளி (open circuit) காற்றுப் புழலின் (wind tunnel) சோதனைப் பாகத்தின் அளவு 1 மீ × 1 மீ ஆகும். அது மணிவடிவான (bell mouthed) முகப்பின் வழியாகக் காற்றை ஈர்க்கிறது. படத்திலுள்ளபடி சோதனைப் பகுதியில் அமைக்கப்பட்டுள்ள ஓர் நீர் அழுத்தமானி 30 மிமீ வெற்றிட அழுத்தத்தை (vacuum pressure) காட்டுமானல், அந்தக் காற்றுப் புழலின் வழிச் செல்லும் காற்றின் அளவு என்ன ? காற்றின் எடை 11·38 நி/மீ³ ; நீரின் எடை 9·81 கிநி/மீ³.

படத்திலுள்ள புள்ளிகள் 1, 2-க்கு பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினல்,



$$\frac{p_1}{w}+\frac{V_1^2}{2g}+z_1=\frac{p^2}{w}+\frac{V_2^2}{2g}+z_2$$

புழலின் அச்சை மட்ட அளவையாக எடுத்துக்கொண்டால், $p_1=V_1=0$ ஆதலால்

$$0+0+0=\frac{p_2}{w}+\frac{V_2}{2g}+0$$

$$\therefore V_2=\sqrt{2g\left(-\frac{p_2}{w}\right)}$$

ஆனல் $p_2 = 30$ மிமீ நீர் உயரம் (வெற்றிடம்) $= -30$ கிகி/மீ²
(29·4 கிநி/மீ²)

$$-\frac{p_2}{w} = \frac{0{\cdot}30 \times 100}{1{\cdot}16} = 25{\cdot}6 \text{ மீ காற்றுயரம்}$$

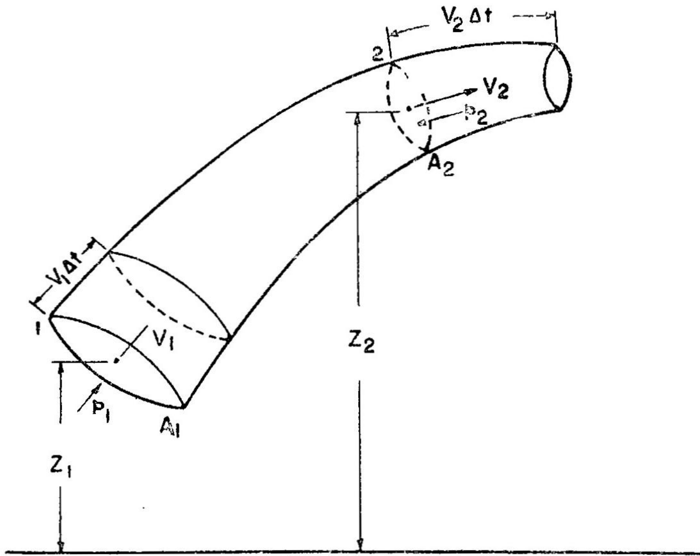
$$\therefore \; V_2 = \sqrt{2 \times 9{\cdot}81 \times 25{\cdot}6}$$

$$= 22{\cdot}9 \text{ மீ/வி}$$

$$Q = A_2 V_2 = 1 \times 22{\cdot}9 = 22{\cdot}9 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

4·6. ஆற்றலின் அழிவின்மைக் கொள்கையிலிருந்து பெர்னுலிச் சமன்பாட்டை வருவித்தல்

இந்தப் பகுதியில் பெர்னுலிச் சமன்பாட்டை ஆற்றலின் அழிவின்மைக் கொள்கையின் அடிப்படையில் அடைவது எப்படி என்று காண்போம். ஒரு இழைக் குழாய் வழியாக (படம் 4·4)



படம் 4·4. இழைக் குழாய் வழியாகப் பாய்ச்சல்

நிலையான, தடையற்ற, அமுக்கமற்ற பாய்மம் பாய்வதாக எடுத்துக் கொள்வோம். வெட்டுமுகம் 1-ல் திசைவேகம், அழுத்தம், வெட்டுப் பரப்பு முறையே V_1, p_1, A_1 ஆகவும் வெட்டுமுகம் 2-ல் V_2, p_2, A_2 ஆகவும் இருக்கட்டும். OO என்ற கிடைமட்ட உயரத்திலிருந்து வெட்டுமுகங்களின் மையங்கள் z_1, z_2 என்ற உயரத்திலிருக்கட்டும். இப்போது Δt என்ற நொடிப்பொழுதில் வெட்டு

முகம் 1 ஆனது $V_1 \triangle t$ என்ற தூரம் இடம் பெயர்கிறது. இந்த இடப்பெயர்வு மிகச் சிறியதாக இருப்பதால் திசைவேக மாறுபாடு புறக்கணிக்கப்படுகிறது. அதே நொடிப்பொழுதில் வெட்டுமுகம் 2 ஆனது $V_2 \triangle t$ என்ற தூரம் இடம் பெயர்கிறது. இவ்வாறு இடம் பெயர்வதால் செய்யப்படும் வினையானது அழுத்த விசைகளாலும், புவியீர்ப்பு விசையாலும் ஏற்படுவதாகும். இந்தப் பாய்மத்தில் தொழிற்பட்ட மொத்த வினையானது இயக்க ஆற்றலின் வேறுபாட்டிற்குச் சமமாகும்.

அழுத்த விசைகளால் ஏற்பட்ட வினையானது,

$$p_1 A_1 V_1 \triangle t - p_2 A_2 V_2 \triangle t = q \triangle t(p_1 - p_2)$$

இதில் $q = A_1 V_1 = A_2 V_2$

புவியீர்ப்பு விசையால் ஏற்பட்ட வினையானது,

$$wA_1 \ \triangle l_1 \ (z_1 - z_2) = wq \ \triangle t(z_1 - z_2)$$

ஆனால் $A_1 \triangle l_1 = A_2 \triangle l_2 = A_2 V_2 \triangle t = q \triangle t$

இயக்க ஆற்றல் வேறுபாடானது,

$$m\left(\frac{V_2{}^2 - V_1{}^2}{2}\right) = \rho q \triangle t \left(\frac{V_2{}^2 - V_1{}^2}{2}\right)$$

இயக்க ஆற்றலின் அதிகரிப்பு, அழுத்த விசை புவியீர்ப்பு விசை இவை இரண்டால் விளையும் வினைகளின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும். ஆகவே,

$$q\triangle t \ (p_1 - p_2) + wq \ \triangle t \ (z_1 - z_2) = \rho q \ \triangle t\left(\frac{V_2{}^2 - V_1{}^2}{2}\right)$$

$wq\triangle t$-யால் வகுத்து, உறுப்புகளைச் சீர்படுத்தினால்,

$$\frac{p_1}{w} + \frac{V_1{}^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{w} + \frac{V_2{}^2}{2g} + z_2$$

இதிலிருந்து ஆற்றலின் அழிவின்மைக் கொள்கையிலிருந்து பெர்னூலிச் சமன்பாட்டை அடையலாம் என்பது தெளிவு.

4·7. பெர்னூலிச் சமன்பாட்டின் நடைமுறை உபயோகங்கள்

பெர்னூலிச் சமன்பாட்டை வருவிக்கும்போது பாய்மம் பாகு நிலையற்றதென எடுத்துக் கொண்டோம். பாகுநிலையற்ற பாய்மத்தில் தடை ஏற்படுவதில்லை. ஆனால் இயற்கையிலுள்ள எல்லாப் பாய்மங்களுக்கும் பாகுநிலையுள்ளதாதலால், அதனால் பாய்ம ஓட்டத்தில் தடை அதாவது உராய்வு ஏற்படுகிறது. இந்தத்

தடையால் பாய்மப் பாய்ச்சலில் ஆற்றலிழப்பு நிகழ்கிறது. இந்த ஆற்றலிழப்பையும் எடுத்துக்கொண்டு, மெய்ப்பாய்ம ஓட்டங்களுக்கு பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினல்,

$$\frac{p_1}{w}+\frac{V_1^2}{2g}+z_1=\frac{p_2}{w}+\frac{V_2^2}{2g}+z_2+h_2 \qquad (4\cdot15)$$

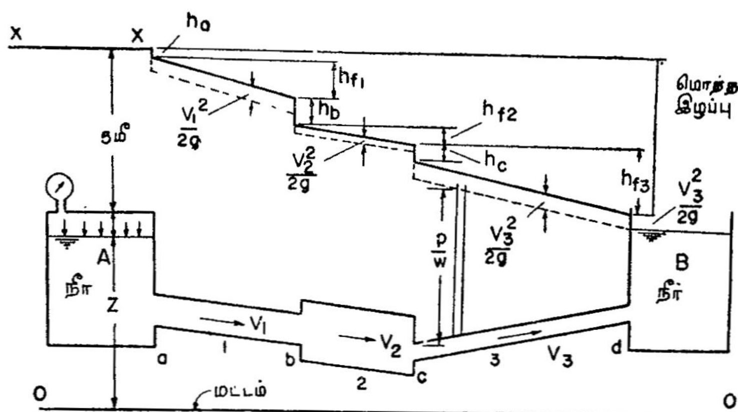
இந்த ஆற்றலிழப்பைத் திரும்ப அடையவே முடியாது.

பொதுவாக ஒரு பாய்ம ஓட்டத்தில் நிலையான ஆற்றல் வந்து சேருவதையும் அல்லது வெளிச் செல்வதையும் (அல்லது அழிவதையும்) எடுத்துக் கொண்டால், பெர்னுலித் தேற்றத்தைக் கீழ்க் கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\frac{p_1}{w}+\frac{V_1^2}{2g}+z_1=\frac{p_2}{w}+\frac{V_2^2}{2g}+z_2\pm E \qquad (4\cdot16)$$

இதில் $+E$ என்பது ஆற்றல் வெளிச் செல்வது அல்லது ஆற்றலிழப்பைக் குறிக்கும். $-E$ என்பது ஆற்றல் வந்து சேருவதைக் குறிக்கும்.

மொத்தத் தலைப்பு, குழாய்மானித் தலைப்பு, ஆற்றலிழப்பு இவற்றின் தொடர்புகள் : பல்வேறு தலைப்புகளுக்கும், ஆற்றலிழப்புக்குமுள்ள தொடர்பானது படம் 4·5 மூலம் விளக்கப் பட்டுள்ளது.



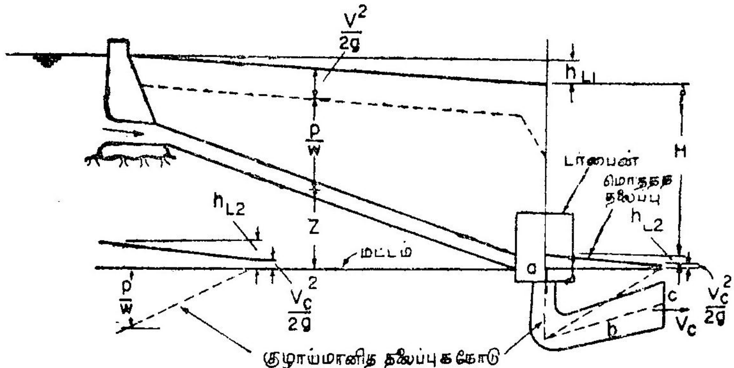
படம் 4·5. ஒரு பாத்திரத்திலிருந்து மற்றெரு பாத்திரத்திற்குப் பாய்ச்சல்

A என்ற மூடிய பாத்திரத்திலுள்ள அழுத்தத்திற்கு உட்பட்ட நீரானது B என்ற திறந்த பாத்திரத்திற்குத் தொடர்பாக இணைக்கப் பட்டுள்ள பலதரப்பட்ட விட்டக் குழாய்களின் வழியாகப் பாய்ந்து

செல்கிறது. A என்ற பாத்திரத்திலுள்ள நீரின் ஆற்றல் B என்ற பாத்திரத்திலுள்ள நீரைவிட அதிகமாக இருப்பதால், நீரானது A-யிலிருந்து B-க்குப் பாய்கிறது. OO என்ற கிடைக் கோட்டை மட்டக்கோடாக எடுத்துக்கொண்டு, A என்ற பாத்திரத்திலுள்ள மொத்த ஆற்றலை XX என்ற கோட்டால் குறிக்கவும். நீரானது பாத்திரத்திலிருந்து குழாய்க்குள் நுழையும் இடமான a-யில் இழப்பு ஏற்படுவதால் மொத்த ஆற்றல் கோடு h_a என்ற அளவு உயரத்தில் சிறிது குறைகிறது. மொத்த ஆற்றல் கோடு நீர் பாயும் திசையில் சரிந்து இருப்பது கனமான கோட்டால் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. b, c என்ற இடங்களில் முறையே திடீர் விரிதலும் (expansion), சுருக்கமும் (contraction) ஏற்படுவதால் உண்டாகும் ஆற்றல் இழப்புக் காரணமாக, ஆற்றல் கோட்டில் திடீர் உயரக் குறைவுகள் ஏற்படுகின்றன. குழாயிலுள்ள திசை வேகத்திற்கேற்ப, குழாய்மானி உயரம் ஆற்றல் கோட்டிற்குக் கீழே இருக்கிறது. குழாயின் விட்டம் சீராக இருக்குமானால், குழாய் மானிக் கோடும் ஆற்றல் கோடும் இணையாக இருக்கும். தடை, திடீர் விரிதல் முதலியவற்றின் காரணமாக ஆற்றல் கோடு பாய்மம் பாயும் திசையில் சரிந்தே இருக்கும். ஆனால் குழாய்மானிக் கோடானது அவ்வாறு சரிந்து இருக்கவேண்டிய அவசியமில்லை. தடைகளால் அதாவது உராய்வுகளால் ஏற்பட்டுள்ள இழப்புகளான h_{f_1}, h_{f_2}, h_{f_3} முதலியனவும், நுழைவாயில் திடீர் விரிதல், திடீர் சுருக்கம் முதலியவற்றால் ஏற்படும் இழப்புகளும் படம் 4·5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. B என்ற பாத்திரத்தில் நீரானது V_3 என்ற திசைவேகத்தில் நுழைகிறது,. இந்தத் திசைவேக ஆற்றலான $\frac{V_3^2}{2g}$ முழுவதும், அப்பாத்திரத்தில் கொந்தளிப்பு ஆற்றலாக (turbulent energy) மாறி முடிவில் மறைகிறது. A என்ற பாத்திரத்திலுள்ள அதிகப்படியான ஆற்றலானது முழுவதுமாகப் பாய்ச்சலை உண்டாக்குவதற்குப் பயன்படுகிறது.

படம் 4·6-ல் நீர்மின்சார நிலையத்தில் (hydroelectric plant) உயரமான இடத்திலிருந்து டர்பைன் (turbine) வழியாக நீர் பாயும் போது உண்டாகும் மொத்த ஆற்றல் கோடு, குழாய்மானிக் கோடு இவற்றிற்கான தொடர்பு விளக்கப்பட்டுள்ளது. மிகக் குறைந்த உயர வேறுபாட்டில் தொழிற்படும் டர்பைன் சுழலியால் (rotor) நீரிலிருந்து எல்லா ஆற்றலையும் எடுக்க முடிவதில்லை. ஏறத்தாழ 25 முதல் 40 சதவீத ஆற்றல் சுழலியில் பயன்படுத்தப்படாமல் வெளிவருகிறது. ஆகவே, திசைவேக வடிவிலுள்ள இந்த ஆற்றலை நிலையாற்றலாக (static energy) டிராஃப்ட் குழாய் (draft tube)

களில் மாற்றுகிறோம். நீரானது தேக்கத்திலிருந்து டர்பைனுக்கு வரும் வழியில் ஏற்படும் இழப்பை h_{L_1} எனவும், டிராஃப்ட் குழாயில்



படம் 4·6. நீர்மின்சார நிலைய அமைப்பு

ஏற்படும் இழப்பை h_{L_2} எனவும், டிராஃப்ட் குழாயிலிருந்து வெளிச் செல்லும் திசைவேகத் தலைப்பை $\frac{V_3{}^2}{2g}$ எனவும் எடுத்துக் கொண்டு படம் 4·6ல் ஆற்றல், குழாய்மானிக் கோடுகள் வரையப்பட்டுள்ளன. நீரிலுள்ள ஆற்றலை, எந்திர ஆற்றலாக டர்பைன் மாற்றுவதால் டர்பைன் உள்ள இடத்தில் மொத்த ஆற்றல் கோடு திடீரெனச் சரிவது நோக்கற்பாலது.

எங்கு திரவமானது திறந்த வெளியில் ஓடுகிறதோ, அங்கெல்லாம் குழாய்மானிக் கோடானது, அந்தத் திரவத்தின் மேல் மட்டத்தோடு இணைந்திருக்கும்.

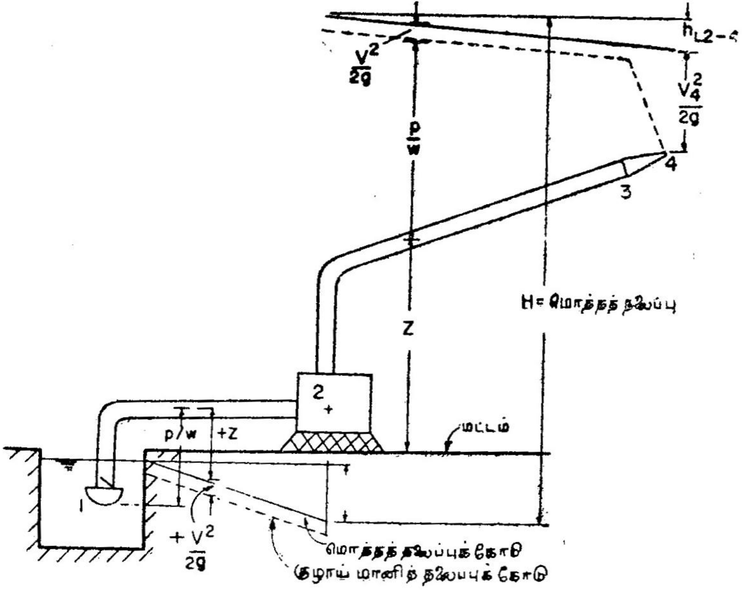
மாதிரிக் கணக்கு 4·3. தீயணைக்கப் பயன்படும் பம்பு (pump) 2 மீ ஆழத்திலிருந்து நீரை இழுத்து பம்பின் அச்சிலிருந்து 6 மீ உயரத்திலுள்ள 50 மிமீ விட்டமுனை (nozzle) வழியாக 20 மீ/வி திசைவேகத்தில் செலுத்துகிறது. உறிஞ்சு குழாயில் (suction pipe) ஆற்றலிழப்பு 2 மீ நீர் உயரமும், செலுத்து குழாயில் (delivery pipe) ஆற்றலிழப்பு 10 மீ உயரமும் இருக்குமானால் அந்தப் பம்பினால் நீருக்கு இடப்படும் திறன் (power) என்ன? மொத்த ஆற்றல் கோடு குழாய்மானிக் கோடு ஆகியவற்றை வரைக.

முனையின் விட்டம் = 50 மிமீ = 5 செமீ

நீரின் திசைவேகம் = 20 மீ/வி

$$\text{பாயுவீதம்} = \frac{\pi \times 5^2}{4} \times \frac{20 \times 100}{1000} = 39{\cdot}2 \text{ லி/வி}$$

செலுத்தப்படும் திசைவேகத் தலைப்பு$=\frac{20^2}{2\times 9\cdot 81}=20\cdot 4$ மீ



படத்திலிருந்து, பம்பானது தொழிற்படும் மொத்தத் தலைப்பானது $H=$ உறிஞ்சு உயரம் + உறிஞ்சுகுழாயில் இழப்பு + முனையின் உயரம் + செலுத்தப்படும் திசைவேகத் தலைப்பு + செலுத்தும் குழாயில் இழப்பு

$$=2+2+6+20\cdot 4+10=40\cdot 4 \text{ மீ நீர் உயரம்}$$

பம்பால் நீருக்குக் கொடுக்கப்படும் ஆற்றல் $=39\cdot 2\times 40\cdot 4$

$=1580$ கிகிஎ-மீ/வி

MKS முறையில்

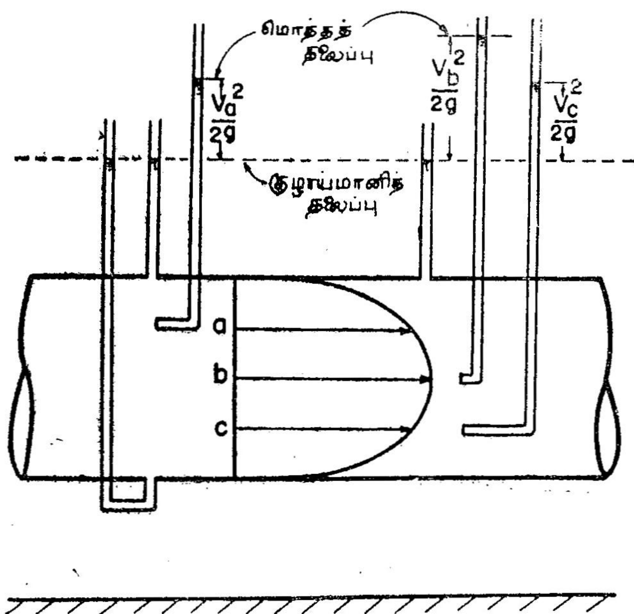
$$\text{திறன்}=\frac{1580}{75}=21\cdot 1 \text{ குதிரை திறன்}$$

SI முறையில்

$$\text{திறன்}=\frac{1580\times 9\cdot 81}{1000}=15\cdot 6 \text{ கிவா.}$$

சுழற்சியுள்ள ஓட்டங்கள் : கட்டற்ற சுழலைத் தவிர மற்ற எல்லா இடங்களிலும் ஏற்படும் மெய்ப் பாய்மப் பாய்ச்சல்கள் சுழற்சியுள்ளனவே. உதாரணமாக, ஒரு கிடையான குழாயில்

நிகழும் நிலையான, அமுக்கமற்ற பாய்ச்சலை எடுத்துக்கொள்வோம். படம் 4·7-ல் அதன் திசைவேகப் பகிர்வு காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 4·7. சுழற்சியுள்ள பாய்ச்சலில் மொத்தத் தலைப்பு

பாய்மம் பாகுநிலையுள்ளதால், திசைவேகம் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் சீரற்றதாக இருக்கிறது. இந்த ஓட்டத்தில் தடையில்லாமலும், முடுக்கமில்லாமலும் இருந்தால் எந்த ஒரு இழைக்கோட்டிலும் குழாய்மானியில் திரவம் ஒரே அளவு உயரத்திற்கு உயருவதைப் பார்க்கலாம். இருந்தபோதிலும், ஒரு வெட்டுப் பரப்பிலுள்ள பல புள்ளிகளில் தேக்க உயரம், அல்லது மொத்த ஆற்றல் உயரம் ஒரே அளவினதாக இல்லாதது நோக்கற்பாலது. b என்ற இடத்தில் a, c என்ற இடங்களைவிட மொத்த ஆற்றல் அதிகமாக இருக்கிறது. ஆகவே, இழைக் கோட்டிற்கு இழைக் கோடு மொத்த ஆற்றல் மாறுகிறது. இவ்வாறு மொத்த ஆற்றல் புள்ளிக்குப் புள்ளி மாறுவதால், திரவத்தின் மொத்த இயக்க ஆற்றல் ஒவ்வொரு புள்ளியிலுமுள்ள இயக்க ஆற்றலின் கூட்டுத் தொகையாகும். இவ்வாறு திரவத்தின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலுமுள்ள இயக்க ஆற்றலைக் கணிப்பது கடினமான வேலையாதலால், சராசரித் திசைவேகத்தின் அடிப்படையில் கணிக்கப்படும் இயக்க ஆற்றலை ஒரு திருத்தக் கூறுால் (correction factor) பெருக்குகிறோம். இவ்வாறு

திருத்தப்பட்ட திசைவேகத் தலைப்பையே மொத்த ஆற்றலை அடைவதில் பயன்படுத்துகிறோம்.

ஆற்றல் திருத்தக் கூறு (Energy Correction Factor) : A வெட்டுப் பரப்புள்ள ஒரு அமைப்பின் வழியாகப் பாயும் பாய்மத்தின் மொத்த இயக்க ஆற்றலானது, திசைவேகப் பகிர்வை எடுத்து கொண்டால்,

$$\int \frac{v_2}{2} dm = \int \frac{v^2}{2} \rho v \, dA \, dt$$

$$= \frac{\rho dt}{2} \int v^3 dA$$

இதில் v என்பது $\triangle m$ நிறையுடைய ஒரு தனிமம் $\triangle A$ என்ற சிறிய வெட்டுப் பரப்பின் வழியாகச் செல்வதால் ஏற்படும் திசைவேக மாகும். இத் திசைவேகமான v, $\triangle A$ என்ற பரப்பிற்கு நேர்குத்தாக இருக்கும். இவ்வாறு ஒரு வெட்டுப் பரப்பிலுள்ள திசைவேகப் பகிர்வு தெரியுமானல், மொத்த இயக்க ஆற்றலை அடையலாம்.

ஆனல் பொதுவாகத் திசைவேகமானது $\frac{Q}{A}$ என்று சராசரித் திசைவேகமாக எழுதப்படுகிறது. ஆகவே, மொத்த ஆற்றலை இந்த சராசரித் திசைவேகம் மூலம் எழுதி, அதை α என்ற மதிப்புள்ள ஆற்றல் திருத்தக் கூறால் பெருக்கினல்,

$$\text{இயக்க ஆற்றல்} = \alpha \frac{V^2}{2} dm = \frac{\alpha \rho \, dt}{2} A V^3$$

இதில் dm என்பது dt என்ற நேரத்தில் dA என்ற பரப்பின் வழி பாயும் பொருண்மையைக் குறிக்கும். இரண்டையும் சமன் படுத்தினல்,

$$\alpha = \frac{1}{AV^3} \int_A v^3 dA \qquad (4{\cdot}17)$$

இந்த ஆற்றல் திருத்தக் கூறு ஒரு வெட்டுமுகத்திலுள்ள திசைவேகப் பகிர்வைப் பொருத்தது. குழாய்ப்படல ஓட்டத்தில் (laminar flow) இதன் மதிப்பு 2 ஆகும். ஆனல் முழுமையான கொந்தளிப்பு ஓட்டத்தில் (turbulent flow) இதன் மதிப்பு 1-ஐ அடையும். பொதுவாகக் கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களில் α-வின் மதிப்பு 1·01 முதல் 1·15 வரை இருக்கும். ஆற்றல் திருத்தக் கூறின் மதிப்பு இலட்சிய பாய்ம ஓட்டங்களில் ஒன்றாக இருக்கும்.

ஆகவே, பெர்னூலிச் சமன்பாட்டை இரண்டு புள்ளிகளுக் கிடையே ஒரு மெய்ப் பாய்மப் புலத்தில் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\frac{p_1}{w}+\frac{a_1 V_1{}^2}{2g}+Z_1=\frac{p_2}{w}+\frac{a_2 V_2{}^2}{2g}+Z_2 \pm E \qquad (4{\cdot}18)$$

மாதிரிக் கணக்கு 4·4. R ஆரமுள்ள ஒரு குழாயில் பாயும் பாய்மப் புலத்தில் திசைவேகப் பகிர்வு $v=V\left(1-\frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{7}}$ ஆகும். இதில் V உச்சத் திசைவேகத்தையும், v ஆரம் r என்ற இடத்திலுள்ள திசைவேகத்தையும் குறிக்கும். ஆற்றல் திருத்தக் கூறின் மதிப்பு என்ன ?

$V_{\text{சராசரி}}$ என்பது குழாயின் சராசரித் திசைவேகத்தைக் குறிக்கும். எனவே,

$$\pi R^2 V_{\text{சராசரி}}=\int_0^R 2\pi r v dr=\int_0^R 2\pi r V\left(1+\frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{7}} dr$$

$$\therefore V_{\text{சராசரி}}=\frac{98}{120} V$$

$$\text{ஆற்றல் திருத்தக் கூறு } \alpha=\frac{1}{AV^3{}_{\text{சராசரி}}}\int_A v^3 dA$$

$$=\frac{1}{A}\int_A\left(\frac{v}{V_{\text{சராசரி}}}\right)^3 dA$$

$$=\frac{1}{\pi R^2}\int_0^R\left[\frac{V\left(1-\frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{7}}}{\frac{98}{120}V}\right]^3 2\pi r dr$$

$$=\frac{1}{\pi R^2}\int_0^R 2\pi r\left(\frac{120}{98}\right)^3\left(1-\frac{r}{R}\right)^{\frac{3}{7}} dr$$

$$=1{\cdot}06$$

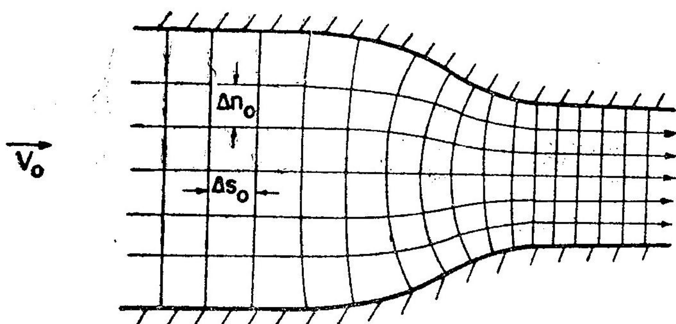
4 8. அழுத்தத்திற்கும் திசைவேகத்திற்குமுள்ள தொடர்பு

ஒரு நிலையான, தடையற்ற பாய்ச்சலில் கிடைத்தளத்தில் இரு புள்ளிகளை எடுத்துக்கொண்டால், $Z_1=Z_2$ ஆகும். $a_1=a_2=1$ என்ற தற்கோளுக்குச் சமன்பாடு 4·18 ஆனது.

$$\frac{p_1}{w}+\frac{V_1^2}{2g}=\frac{p_2}{w}+\frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{p_1-p_2}{w}=\frac{V_2^2-V_1^2}{2g}$$

ஆகவே, ஒரு நிலையான சுழற்சியற்ற பாய்ச்சலில் திசை வேகப் புலம் தெரியுமானால் அழுத்தப் புலத்தையும் (pressure field) கணிக்கலாம். அத்தியாயம் 3-ல் ஒரு இலட்சிய பாய்மப் பாய்ச்சலுக்கு பாய்ச்சல் வலை வரையலாம் எனப் பார்த்தோம். எனவே, ஒரு பாய்ச்சல் புலத்தில் ஏதாவது ஒரு புள்ளியில் திசைவேகத்தின் மதிப்புத் தெரியுமானால் வலையின் உதவியால் அப் புலத்தில் எந்தப் புள்ளியிலும் திசைவேகத்தை மதிப்பிடமுடியும்.



படம் 4·8. பாய்ச்சல் வலை

படம் 4·8-ல் இரு பரிமாண, குவியும் அமைப்பிற்கான பாய்ச்சல் வலை வரையப்பட்டுள்ளது. O என்ற புள்ளியிலுள்ள திசைவேகம் தெரியுமானால், அந்தப் புலத்தில் எந்த இடத்திலுமுள்ள திசை வேகத்தை O-விலுள்ள திசைவேகத்தால் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\frac{V}{V_0}=\frac{\Delta n_0}{\Delta n}=\frac{\Delta s_0}{\Delta s}$$

ஆகவே, அழுத்தமானது,

$$\frac{p-p_0}{\rho\frac{V_0^2}{2}}=1-\left(\frac{V}{V_0}\right)^2 \qquad (4\cdot19)$$

மூடிய அமைப்புகளில் அடைத்துக்கொண்டு (confined flow) செல்லும் சுழற்சியற்ற ஓட்டங்களில் மேலே உள்ள சமன்பாட்டைப்

போன்ற ஒரு சமன்பாட்டை வருவிக்கலாம். வெவ்வேறு மட்டத்திலுள்ள, 1, 2 என்ற இரண்டு புள்ளிகளில்

$$\frac{p_1}{w}+Z_1+\frac{V_1^2}{2g}=\frac{p_2}{w}+Z_2+\frac{V_2^2}{2g}$$

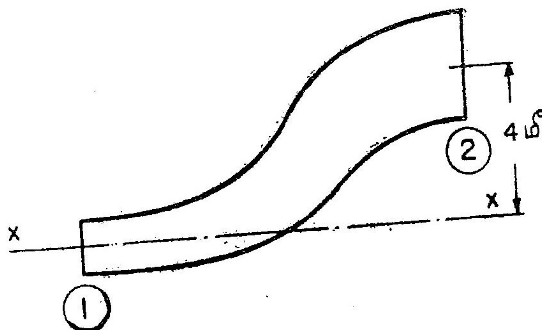
(அ-து)
$$h_1+\frac{V_1^2}{2g}=h_2+\frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{\Delta h}{\dfrac{V_1^2}{2g}}=1-\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 \qquad (4\cdot20)$$

அடைத்துக் கொண்டு செல்லும் அமைப்புகளில் பாய்மத்தின் எடையும் எடுத்துக் கொள்ளப்படுவதால் குழாய்மானி உயரம் சமன்பாட்டில் வருவது நோக்கற்பாலது. இருந்தபோதிலும் பாய்ச்சல் வலை அமைப்பானது பாய்ம எடையால் பாதிக்கப்படுவதில்லை என்பதைக் கருத்தில் கொள்ளவேண்டும்.

ஒரு பாய்ச்சல் அமைப்பில் திசைவேகம் அதிகரிக்கும் இடங்களில் அல்லது மட்டம் உயரும் இடங்களில் அழுத்தம் குறையும் என்பது பெர்னுலிச் சமன்பாட்டிலிருந்து அறியலாம். இவ்வாறு அழுத்தம் குறைந்து கொண்டே வந்து ஆவி அழுத்தநிலைக்கு வந்தால் அத்தியாயம் 1-ல் விளக்கியுள்ளபடி திரவமானது வளிமண்டல வெப்பநிலையிலேயே ஆவியாக மாறும். இவ்வாறு உண்டாகும் திரவ ஆவியானது தூசித் துகள்களை உட்கருவாகக் (nuclei) கொண்டு உருவாவதாகக் கருதப்படுகிறது. (வேறு பல கருத்துக்களும் உள்ளன.) இவ்வாறு உருவாகும் எண்ணற்ற ஆவிக் குமிழ்கள் (vapour bubbles) அழுத்தம் அதிகமான இடத்தை அடையும் போது அழுத்தச் சக்தியால் உள்நோக்கிச் சுருங்கி உடைக்கப்படுகிறது(implosion). இவ்வாறு ஆவிக்குமிழ்கள் உடைவதால் அழுத்த அலைகள் (pressure waves) ஏற்பட்டு அதிர்ச்சி (vibration) உண்டாகிறது. ஆவிக் குமிழ்கள் அழுத்தம் குறைவான இடத்தில் உற்பத்தியாகி, அழுத்தம் அதிகமான இடத்தில் உடைவதற்குக் குழிதல் (cavitation) எனப் பெயர். எல்லைகளின் பாகங்கள் அரிக்கப்படுவதாலும் (erosion), பாய்மப் பாதையில் பாய்ம ஓட்டம் திணறவைக்கப் (choking) படுவதாலும் குழிதல் நல்லதன்று. நீரியல் அமைப்புகளில் இது தவிர்க்கப்பட வேண்டும். அவசியமானால் மாதிரிச் சோதனைகள் மூலம் குழிதல் ஏற்படுமா என்று சோதித்தறிவது அவசியம். நீரானது 0·233 கிகி/செமீ^{2} (22·85 கிநி/மீ^{2}) தனி அழுத்தத்தில் 15°C வெப்பநிலையில் ஆவியாக மாறுவதாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 4·5. எண்ணெய் பாயும் ஒரு குழாயின் விட்டம் 200 மிமீ-லிருந்து 500 மிமீ விட்டமாக ஒரு இடத்திலிருந்து அந்த இடத்திற்கு 4 மீ உயரத்திலுள்ள இடத்தில் படிப்படியாக மாறுகிறது. அந்த இரண்டு இடங்களிலும் அழுத்தங்கள் முறையே 1 கிகிஎ/செமீ^{2} (100 கிநி/மீ^{2}), 0·6 கிகிஎ/செமீ^{2} (60 கிநி/மீ^{2}) ஆக இருக்குமானால் 200 லிட்டர்/வி பாயுவீதத்திற்கு ஆற்றலிழப்புத் தலைப்பு என்ன ? எண்ணெய் பாயும் திசை எது ? எண்ணெயின் ஒப்புச் செறிவு 0·85.



$S = 0{\cdot}87$

$d_1 = 0{\cdot}2$ மீ $\qquad$ $w = 870$ கிகிஎ/மீ^{3}

$d_2 = 0{\cdot}5$ மீ

$Q = 0{\cdot}2$ மீ^{3}/வி

$$V_1 = \frac{0{\cdot}2 \times 4}{\pi \times 0{\cdot}2^2} = 6{\cdot}37 \text{ மீ/வி}$$

$$V_2 = \frac{0{\cdot}2 \times 4}{\pi \times 0{\cdot}5^2} = 1{\cdot}02 \text{ மீ/வி}$$

அழுத்தங்களை எண்ணெயின் உயரமாக எழுதினால்,

$$\frac{p_1}{w} = \frac{10000}{870} = 11{\cdot}5 \text{ மீ} \quad \frac{p_2}{w} = \frac{6000}{870} = 6{\cdot}9 \text{ மீ}$$

XX என்ற கோட்டை மட்ட அளவை(datum)யாக எடுத்துக் கொண்டு, 1 என்ற இடத்தில் மொத்தத் தலைப்பானது,

$$11{\cdot}5 + \frac{6{\cdot}37^2}{2 \times 9{\cdot}81} = 11{\cdot}5 + 2{\cdot}07$$

$$= 13{\cdot}57 \text{ மீ எண்ணெய் உயரம்}$$

2 என்ற இடத்தில் மொத்தத் தலைப்பானது,

$$6{\cdot}9+\frac{1{\cdot}02^2}{2\times 9{\cdot}81}+4=6{\cdot}9+0{\cdot}053+4$$

$=10{\cdot}953$ மீ எண்ணெய் உயரம்

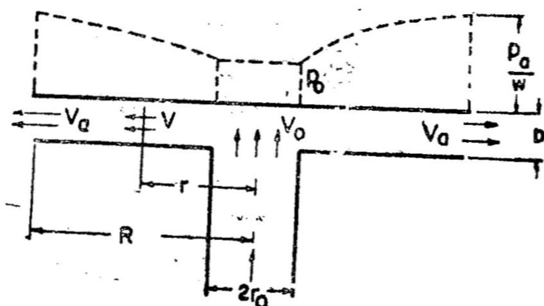
1 என்ற இடத்தில் மொத்தத் தலைப்பு, 2 என்ற இடத்தைவிட அதிகமாக இருப்பதால், பாய்மம் 1-லிருந்து 2-ஐ நோக்கிப் பாய்கிறது.

1-க்கும் 2-க்கும் இடையே ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு

$=13{\cdot}57-10{\cdot}953$

$=2{\cdot}617$ மீ எண்ணெய் உயரம்.

மாதிரிக் கணக்கு 4·6. R ஆரமுள்ள இணைதளங்கள் ஒன்றுக்கொன்று b தூரத்தில் படத்திலுள்ளபடி அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. அடியிலுள்ள தளத்தில் r_o ஆரமுள்ள துளையின் வழியாக w அலகு பருமனெடையுள்ள திரவமானது p_o தனி அழுத்தத்தில் நுழைந்து மையத்திலிருந்து எல்லாத் திசைகளிலும் சமமாகப் படர்ந்து வெளிச் செல்கிறது. திரவம் வெளிச் செல்லும்போது இணைத்தளங்களிடையே உள்ள இடத்தை முழுவதும் நிரப்பி செல்லுமானால் அழுத்தப் பகிர்வு, மேற்தளத்திலுண்டாகும் கீழ்நோக்கு விசை இவற்றைக் கணக்கிடு.



r ஆரமுள்ள இடத்தில் திசைவேகம் V ஆகவும் வெளி வாயிலில் திசைவேகம் V_a ஆகவும் ஒரு மாறாத பாயுவீதத்திற்கு இருக்கட்டும். பெர்னுலிச் சமன்பாட்டின்படி,

$$\frac{p_a}{w}+\frac{V_a^2}{2g}=\frac{p}{w}+\frac{V^2}{2g}=\frac{p_o}{w}+\frac{V_o^2}{2g}=K$$

இதில் p_a என்பது வளிமண்டல அழுத்தமாகும். ஆற்றலிழப்பு புறக்கணிக்கப்பட்டுள்ளது. தொடர்ச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$V_a \times 2\pi Rb = V \times 2\pi rb \;=\; V_0 \times \pi r_0^2$$

$$\therefore V = V_a \frac{R}{r}$$

எனவே,

$$p = wK - \frac{V_a^2}{2g}\left(\frac{R}{r}\right)^2$$

$$= wK - \frac{C}{r^2} \quad \text{இதில் } C = \frac{V_a^2 R^2}{2g}$$

இதிலிருந்து ஆரத் திசையில் அழுத்தப் பகிர்வு பரவளைவு (parabola) வடிவத்திலுள்ளது எனத் தெரிகிறது. மேற்தளத்தில் தொழிற்படும் விசையைக் கணக்கிட,

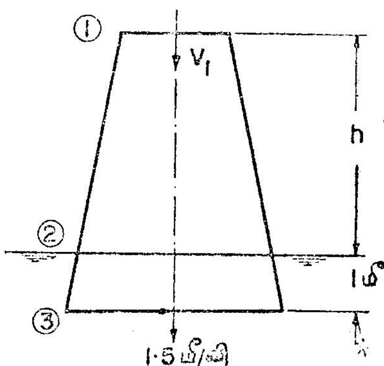
$$P = 2\pi w \int_{r_0}^{R} \left(Kr - \frac{C}{r}\right) dr + p_0 \pi r_0^2$$

$$= 2\pi w \left\{ \frac{K}{2}\left(R^2 - r_0^2\right) - C \log_e \frac{R}{r_0} \right\} + p_0 \pi r_0^2$$

எனவே, மொத்த கீழ்நோக்கித் தொழிற்படும் விசையானது

$$= \pi R^2 p_a - \left[2\pi w \left\{ \frac{K}{2}(R^2 - r_0^2) - C \log_e \frac{R}{r_0} \right\} + p_0 \pi r_0^2 \right]$$

மாதிரிக் கணக்கு 4·7. செங்குத்தாக இருக்கும் கூம்பு வடிவமான (conical) டிராஃப்ட் குழாயின் (draft tube) வழியாகப் பாயும் நீரின் பாயுவீதம் 15 மீ^{2}/வி ஆகும். குழாயின் மேற்பாகத்தில் விட்டம் 2 மீ. கீழ்ப்பாகம் நீர்மட்டத்திற்குக் கீழே 1 மீ மூழ்கியிருக்கிறது. கீழ்ப்பாகத்தின் வழி வெளிச்செல்லும் நீரின் திசைவேகம் 1·5 மீ/வி. குழாயின் மேற்பாகத்தில் அழுத்தம் —8 மீ நீரின் உயரத்திற்குக் குறையக்கூடாதென்றால், நீரின் மட்டத்திற்கு எவ்வளவு உயரம்வரை குழாயின் மேற்பாகம் இருக்க வேண்டும்? உராய்வு இழப்பைப் புறக்கணிக்கவும்.



$Q = 15$ மீ^{3}/வி

$$V_1 = \frac{15 \times 4}{\pi \times 2^2} = 4{\cdot}78 \text{ மீ/வி}$$

$$\frac{p_1}{w} = -8 \text{ மீ நீரின் உயரம்}$$

டிராஃப்ட் குழாயின் வெளிவாயிலே மட்ட அளவையாக எடுத்துக்கொண்டு, $\frac{p_a}{w}=0$ எனக் கண்டால்,

$$\frac{V_3^{\,2}}{2g}+1+0=\frac{V_1^{\,2}}{2g}+(h+1)-8$$

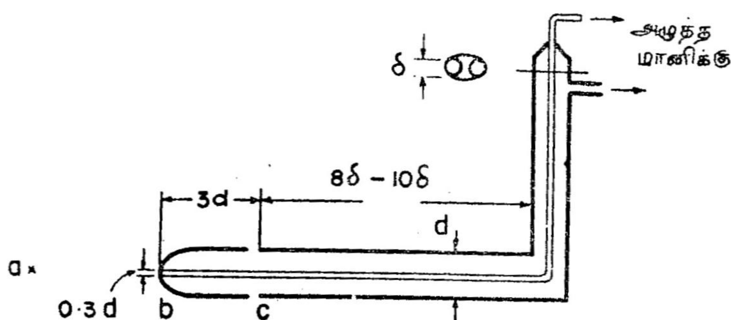
$$\therefore\ h=6{\cdot}06 \text{ மீ.}$$

4·9. பெர்னௌலிச் சமன்பாட்டின் சில செயற்பாடுகள் (Applications of Bernouilli's Equation)

இந்தப் பகுதியில் பெர்னௌலிச் சமன்பாட்டை எவ்வாறு சில முக்கியமான பொறியியற் சாதனங்களில் பயன்படுத்துகிறோம் என்பது விளக்கப்பட்டுள்ளது. பிட்டாட் குழாய் (Pitot tube), துளை (orifice) யிலிருந்து வெளிவரும் தாரை (jet), வாயருகு கருவி (mouth piece) யிலிருந்து வெளிவரும் பாயுவீதம் முதலியவற்றைப் பற்றி ஆய்வதற்கு பெர்னௌலிச் சமன்பாடு பயன்படுகிறது. இவை பற்றிய விளக்கம் இந்த அத்தியாயத்தின் பின்வரும் பகுதிகளில் உள்ளது. பெர்னௌலிக் கொள்கையை பயன்படுத்தி விளக்கப்படும் மற்ற அமைப்புகளான வெஞ்சுரிமானி (Venturimeter), துளை மானி (orifice meter), முனைமானி (nozzle meter), கலுங்குகள் (notches), சிற்றணைகள் (weirs) முதலியவற்றைப் பற்றி மற்ற அத்தியாயங்களில் விளக்கப்பட்டுள்ளன. உந்தச் சமன்பாடு களுடன், பெர்னௌலிச் சமன்பாடு பாய்ச்சலின் பல குணங்களைப் பற்றி ஆய்ந்தறியப் பயன்படுகிறது.

4·10. பிட்டாட் குழாய் (Pitot Tube)

பிட்டாட் அல்லது தேக்கக் குழாய் (stagnation tube) ஒரு பாய்ச்சலின் மொத்தத் தலைப்பை அளக்கப் பயன்படுகிறது எனப்



படம் 4·9. பிராண்டல் குழாய்

பார்த்தோம். ஹென்ரி பிட்டாட் (Henri Pitot) என்ற பிரான்சு நாட்டு நீரியற் பொறியாளர் ஆற்றில் திசைவேகத்தை அளக்க இந்தக் கருவியை முதற்கண் கண்டுபிடித்துக்கையாண்டார். கால் வாய் ஓட்டங்களில் முடுக்கம் இல்லாவிட்டால், குழாய்மானித் தலைப்பு (piezometric head), கால்வாயிலுள்ள திரவமட்டத்தோடு இணைந்துவிடுகிறது. ஆகவே, திரவமட்டத்திற்குமேல் தேக்கக் குழா யில் உயரும் நீரானது திசைவேகத் தலைப்பைக் காட்டும். இந்த எளிய அமைப்பை பிராண்டல் (Prandtl) என்ற ஜெர்மானிய நாட்டுப் பொறியாளர் இந்த நூற்றுண்டில் மேலும் சீரிய திசைவேகமானி யாகத் திருத்தி அமைத்தார். இதன் கெழு பொதுவாக ஒன்றுகும். இவ்வமைப்பு படம் 4·9-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஒரு சிறிய விட்ட முள்ள உருளைவடிவான குழாயைச் சுற்றி மற்றொரு குழாய், இந்த இரண்டு குழாய்களுக்கும் இடையே வெளி இருக்கும்படி பொறுத்தப்பட்டிருக்கின்றன. படத்திலுள்ளபடி இந்த இரண்டு குழாய்களுக்கும் வளைவான முனை இருக்கும்படி முன்பாகத்தில் இணைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இரண்டு குழாய்களுக்கும் ஒன்றோ டொன்று சம்பந்தம் இல்லாதபடி பின்பாகத்தில் தனித்தனியே அழுத்தமானியில் பொறுத்துவதற்கு வசதியாக அமைக்கப்பட் டிருக்கிறது. வெளிக் குழாயில் அதன் முனையிலிருந்து $3d$ தூரத்தில் நுண்ணிய துளைகள் இடப்பட்டுள்ளன. உட்குழாய் தேக்க அழுத்தத்தையும் (stagnation pressure), வெளிக் குழாய் நிலை அழுத்தத்தையும் (static pressure) காட்டும். ஆகவே, இந்த இரண்டு அழுத்தங்களின் வேறுபாடு திசைவேகத்தால் ஏற்படும் அழுத்தத்திற்குச் சமமாகும். இந்த அமைப்பிற்குப் பிராண்டல் குழாய் (Prandtl tube) எனப் பெயர். பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைப் புலத்தின் வெளியிலுள்ள புள்ளி a, தேக்கப்புள்ளி b, நிலை அழுத்தத் துளை c ஆகியவற்றிற்குப் பயன்படுத்தினல், .

$$\frac{p_a}{w}+\frac{V_a^2}{2g}=\frac{p_b}{w}+\frac{V_b^2}{2g}=\frac{p_c}{w}+\frac{V_c^2}{2g}$$

a, b, c என்ற புள்ளிகள் ஒரே கிடைத்தளத்தில் இருக்கின்றன. எனக் கொள்ளலாம். இப்போது

$$\frac{p_b}{w}+\frac{V_b^2}{2g}=\frac{p_s}{w}=\text{தேக்கத் தலைப்பு (stagnation head)}$$

இதில் $V_a=V_c$. ஆக இருக்கும். எனவே,

$$\frac{p_s}{w}-\frac{p_c}{w}=\frac{V_a^2}{2g}$$

$$\therefore V_a=C_v\sqrt{2g\left(\frac{p_s}{w}-\frac{p_c}{w}\right)} \qquad (4{\cdot}21)$$

சமன்பாடு 4·21-ல் உள்ள அழுத்த வேறுபாட்டை அளக்கப் பிட்டாட்-பிராண்டல் மானியில் (Pitot-Prandtl tube) இரு வெளி முனைகளையும் U-குழாய் அழுத்தமானியின் இரு புயங்களுடன் இணைக்க வேண்டும். U-குழாய் அழுத்தமானியில் உண்டாகும் உயர வேறுபாட்டிலிருந்து அத்தியாயம் 2-ல் விளக்கியுள்ளபடி, அழுத்த வேறுபாட்டைக் கணக்கிடலாம். நன்கு நிர்மாணிக்கப்பட்ட பிராண்டல்மானியின் பாயுவீதக் கெழு (discharge coefficient) ஒன்றாக இருக்கும். இருந்தபோதிலும் அதிகத் துல்லியமான அளவுகள் தேவைப்படும்போது இந்த மானிகளை அளவு திருத்தம் (calibration) செய்வது அவசியம். C_v என்ற கெழுவின் மதிப்பு பொதுவாக ஒன்றாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 4·8. ஒரு பிட்டாட் நிலைக்குழாய் (Pitot static tube) ஆகாய விமானத்தின் வேகத்தை அளக்கப் பயன் படுத்தப்படுகிறது, இந்தக் குழாயின் இரு வெளிமுனைகளுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள U-குழாய் நீர் அழுத்தமானியில் நீரின் உயர வேறுபாடு 90 மிமீ ஆகும். இந்த அழுத்தமானியின் கெழு 0·98. ஆகாய விமானத்தின் வேகம் என்ன? காற்றின் அலகு பருமனெடை 1·225 கிகி/மீ³. அழுக்க விளைவுகளைப் புறக்கணிக்க.

அழுத்த வேறுபாடு = 90 மிமீ நீர் உயரம்
= 90 கிகி/மீ²

$$\text{இதற்குச் சமமான காற்றின் உயரம்} = \frac{90}{1{\cdot}225}$$
$$= 73 \text{ மீ}$$

$$\text{திசைவேகத் தலைப்பு } \frac{V^2}{2g} = 73 \text{ மீ}$$

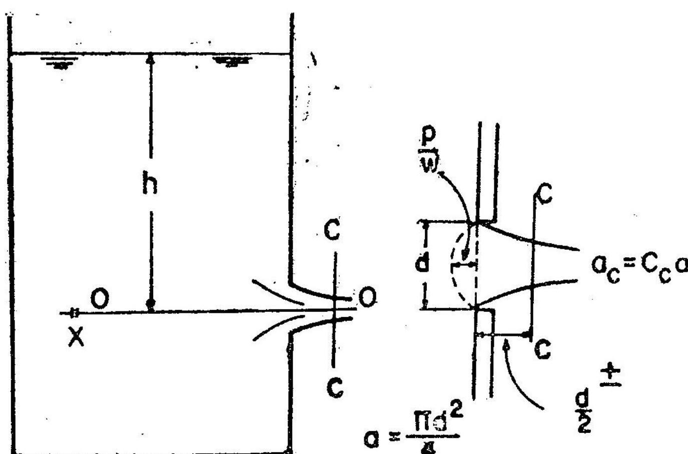
$$V = 0{\cdot}98\sqrt{2 \times 9{\cdot}81 \times 73}$$
$$= 37{\cdot}2 \text{ மீ/வி}$$

$$\text{வேகம்} = \frac{37{\cdot}2 \times 60 \times 60}{1000} = 134 \text{ கிமீ/மணி.}$$

4·11. துளையிலிருந்து வெளிவரும் தாரை (Efflux from an Orifice)

ஒரு பாத்திரத்திலுள்ள துளையிலிருந்து திரவம் தாரையாக வெளிப்பாய்ந்தால், அந்தத் துவாரத்திற்குத் துளை (orifice) எனப் பெயர். அந்தத் துளையின் சுவரானது படம் 4·10-ல் உள்ளபடி மெல்லியதாக இருந்தால்தான் குறைந்த அளவு தொடுபரப்புடன்

(contact area) தடை குறைவாகத் தாரை வெளிவரும். இவ்வாறு கூரிய விளிம்புள்ள துளையை பொதுவாகத் துளை என்கிறோம்.



படம் 4·10. துளையிலிருந்து வெளிவரும் தாரை

தாரையிலுள்ள துகள்களின் திசைவேகம் சீராக இருப்பதற்குத் தாரையில் தொழிற்படும் தலைப்பு அதிகமாக இருக்கவேண்டும். தாரையின் விட்டத்திற்கு அல்லது செங்குத்து அளவிற்கு அதிற் தொழிற்படும் தலைப்பு அதிகமாக இருக்குமானல், அந்த அமைப்பைச் சிறிய துளை (small orifice) என்கிறோம். ஒரு பெரிய துளையில் (large orifice) எந்த ஒரு புள்ளியிலுள்ள திசைவேகமும் அந்தப் புள்ளியிலுள்ள தலைப்பின் வர்க்கமூலத்திற்கு (square root) நேர்விகிதத்திலிருக்கும். நாம் ஒரு துளையிலிருந்து நிலையான தலைப்பில் (constant head) வெளிவரும் தாரையைப் பற்றி படிப் போம். நம்முடைய ஆய்வில் புவியீர்ப்பின் விளைவுகளை எடுத்துக் கொள்ளவில்லை.

பாத்திரத்தின் ஒரு பக்கத்திலுள்ள சிறிய துளையை எடுத்துக் கொள்வோம். இந்தத் துளை, பக்கத்தின் விளைவுகளால் பாதிக் கப்படாத அளவு எந்தப் பக்கத்திற்கும் அண்மையில் இல்லை என எடுத்துக் கொள்வோம். இழைக் கோடானது துளையை நோக்கி வரும்போது வளைகிறது; அக்கோடானது அதன் வளைவைத் திடீ ரென்று துளையின் சமீபத்தில் மாற்றிக் கொள்ள முடியாததால், CC என்ற பகுதியில் தாரையிலுள்ள துகள்கள் இணையாகும் வரை

குவிந்து கொண்டே வருகின்றன. இந்த CC என்ற பகுதி துளை யின் கூரிய விளிம்பிலிருந்து ஏறக்குறைய $\frac{d}{2}$ என்ற தூரத்திலுள் ளது. இதில் d என்பது துளையின் விட்டமாகும். CC என்ற இடத்தில் தாரையின் அளவு குறைந்த விட்டமான d_c-யை அடை கிறது. இந்தப் பகுதிக்குத் தாரைக் குறுக்கம் (vena contracta) எனப் பெயர். தாரைக் குறுக்கத்திலுள்ள தாரையின் வெட்டுப் பரப்பிற் கும், துளையின் பரப்பிற்குமுள்ள விகிதத்திற்குக் குறுக்கக் கெழு (coefficient of contraction) எனப் பெயர்.

அதாவது $$C_c = \frac{a_c}{a}$$

தாரைக் குறுக்கத்தில் திசைவேகம் சீராக இருப்பதால், அந்த இடத்திலுள்ள தாரையின் அழுத்தமும் சீராக இருக்கும். இந்த உண்மை சோதனைகள் மூலமாகவும் ஊர்ஜிதப்படுத்தப்பட்டுள்ளது. ஆனால் துளையில் திசைவேகமானது சீரற்றதாக இருக்கிறது. இதற்கு இழைக் கோடுகள் வளைவுடையதாக இருப்பதே காரணம். இதனால் ஏற்படும் முடுக்கத்திற்குத் தேவையான அழுத்த வேறுபாடு துளைப் பகுதியில் தேவைப்படுவதால், அழுத்தம் சீரற்றதாக இருக்கவேண்டியிருக்கிறது. இப்போது ஒரு நிலையான பாய்ச்ச லுக்கு OO என்ற கிடைக் கோட்டில் (படம் 4·10) பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினால்,

$$\frac{p_a}{w} + \frac{p_x}{w} + \frac{V_x^2}{2g} = \frac{p_a}{w} + \frac{V_c^2}{2g}$$

X என்ற இடத்தில் V_x-ன் மதிப்பு புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு சிறிய தாக இருப்பதால், $V_x = 0$ என எடுத்துக்கொள்ளலாம். மேலும் அழுத்தப் பகிர்வு நீர்நிலையியற் தன்மையது. ஆகவே, $\frac{p_x}{w} = h$ ஆகும். எனவே,

$$h = \frac{V_c^2}{2g} \qquad (4{\cdot}22)$$

இதற்கு டாரிசெல்லித் தேற்றம் (Torricelli's theorem) எனப் பெயர். பரப்பு இழுவிசை, தடை இவற்றால் தாரைக் குறுக்கத்தி லுள்ள திசைவேகமானது சமன்பாடு 4·22-ல் கொடுக்கப் பட்டுள்ளதைவிடச் சிறிது குறைவாக இருக்கும். CC என்ற இடத் தில் மெய்யான திசைவேகமானது,

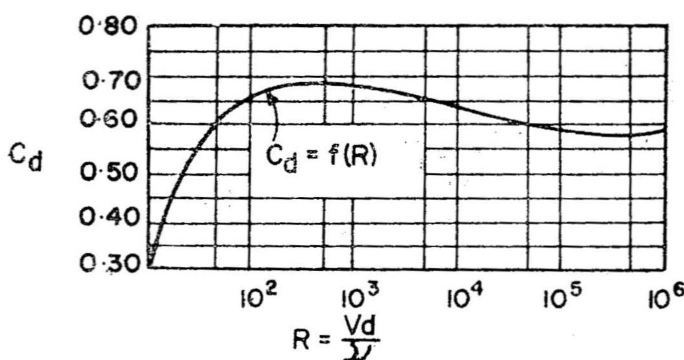
$$V_c = C_v \sqrt{2gh}$$

இதில் C_v என்பது திசைவேகக் கெழு (coefficient of velocity) வாகும்.

தாரையின் சுற்றுப் பரப்பில் திசைவேகமானது மேலே உள்ள மதிப்பைவிடச் சிறிது குறைவாக இருக்கும். இப்போது துளை வழியாக வெளிப்படும் பாய்மத்தின் வீதம்,

$$Q = C_c\, a \times C_v \sqrt{2gh} = a\, C_d\, \sqrt{2gh} \qquad (4{\cdot}23)$$

இதில் C_d என்பது பாயுவீதக்கெழு (coefficient of discharge)ஆகும். சமன்பாடு 4·23 எல்லாவிதப் பாய்ச்சல்களுக்கும், எவ்வித அமைப்புள்ள துளைக்கும் பொருந்தும். ஆனல் பாயுவீதக் கெழுவை சோதனைகள் மூலம் கண்டறிய வேண்டும். C_d–யானது இரெயினல்ஸ் எண்ணையும் (R), துளையின் அமைப்பையும், வடிவத்தையும் சார்ந்தது எனத் தெரிகிறது. பாயுவீதக் கெழுவானது உண்மைப் பாயுவீதத்திற்கும் கொள்கை ரீதியான பாயுவீதத்திற்குமுள்ள விகிதமாகும். கொள்கை ரீதியான பாயுவீதத்தை இலட்சிய பாய்மத்தால் ஏற்படும் பாயுவீதமெனத் தவருக எண்ணிவிடலாகாது. இலட்சிய பாய்ம ஓட்டத்திலுண்டாகும் தாரையிலும் தாரைக் குறுக்கம் (vena contracta)ஏற்படுகிறது; ஆனல் இதில் $C_v = 1$ ஆகும். இலட்சிய பாய்ம ஓட்டத்தில் C_d-யின் மதிப்பு $\frac{\pi}{\pi+2}$ எனக் கொள்கை ரீதியில் நிரூபிக்கப்பட்டிருக்கிறது. படம் 4·11-ல் C_d-க்கும் R-க்குமுள்ள தொடர்பானது வளைகோட்

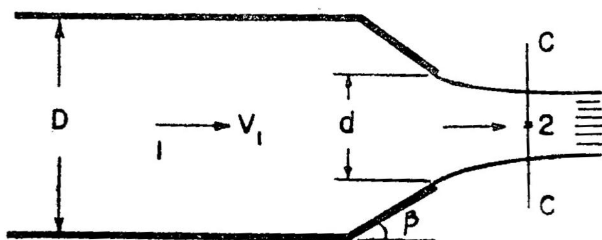


படம் 4·11. R-க்கும் C_d-க்குமுள்ள தொடர்பு

டால் விளக்கப்பட்டுள்ளது. R-ன் மதிப்பு அதிகரிக்குங்கால், C_d-யின் மதிப்பும் அதிகரிக்கிறது. ஆனல் கொந்தளிப்புத் தன்மையுள்ள பாய்ச்சலில் C_d-யின் மதிப்பு 0·59 முதல் 0·61 வரை இருக்கும். மிகக் குறைந்த பாகுநிலையுள்ள திரவங்களுக்கு,

$$C_c = 0{\cdot}63, \qquad C_v = 0{\cdot}97, \qquad C_d = 0{\cdot}61$$

மேலே விளக்கப்பட்டுள்ள முறையை ஒரு குழாயின் முடிவிலுள்ள பாதிப்பற்ற (suppressed) துளைகளுக்கும் பயன்படுத்தலாம். இதன் அமைப்பு படம் 4·12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்தத்



படம் 4·12. குழாயின் முடிவிலுள்ள துளை

துளையிலிருந்து வெளிப்படும் தாரையானது குழாயின் சுவர்களின் விளைவுகளால் பாதிக்கப்படுகிறது. இந்த அமைப்பில் குழாயிலுள்ள அணுகு திசைவேகத்தையும் (velocity of approach) நாம் எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ என எடுத்துக்கொண்டு, பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினல்,

$$\frac{p_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g}$$

தொடர்ச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$V_1 \times \frac{\pi D^2}{4} = V_2 C_c \frac{\pi d^2}{4}$$

இதில் C_c என்பது குறுக்கக் கெழு (coefficient of contraction) ஆகும். V_2-ஆகத் தீர்த்தால்,

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - C_c^2 \left(\frac{d}{4}\right)^4}} \sqrt{2g \frac{(p_1 - p_2)}{w}}$$

எனவே, பாயுவீதமானது,

$$Q = \frac{C_c}{\sqrt{1 - C_c^2 \left(\frac{d}{D}\right)^4}} \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2g \frac{(p_1 - p_2)}{w}}$$

$$= C_d \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2g \frac{\Delta p}{w}} \qquad (4{\cdot}24)$$

இதில் $\Delta p = (p_1 - p_2)$

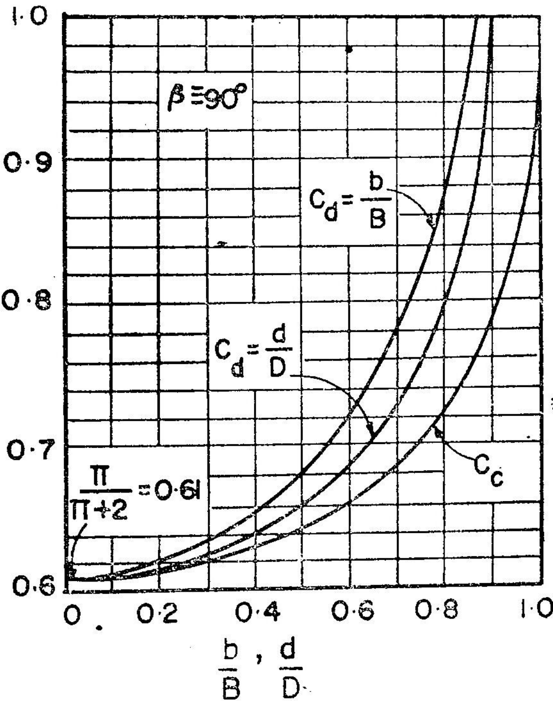
$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 - C_c^2 \left(\frac{d}{D}\right)^4}}$$

சமன்பாடு 4·24, கிட்டத்தட்ட சமன்பாடு 4·23 போல் இருப்பது நோக்கற்பாலது. நாம் அணுகு திசைவேகத்தை எடுத்துக்கொண்டிருப்பதால், பாயுவீதக் கெழுவின் மதிப்பு அதிகமாக இருக்கிறது.

இதேபோல் இரு பரிமாணமுடைய அமைப்பின் வெளிவாயிலில் பாயுவீதக் கெழுவானது,

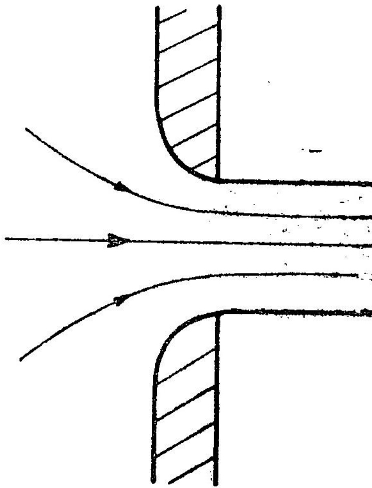
$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 - C_c^2\left(\frac{b}{B}\right)^2}} \qquad (4·25)$$

இதில் B, b முறையே D, d என்பவற்றிற்குச் சமமாகும். இருபரிமாண, அச்சுச் சமச்சீரான (axisymmetrical) அமைப்புகளில் பாதிப்பற்ற துளைகளில் β-வின் மதிப்பு 90°-ஆக இருக்கும் போது பாயுவீதக் கெழுவின் மதிப்புகள் படம் 4·13-ல் கொடுக்கப் பட்டுள்ளன.



படம் 4·13. பாயுவீதக் கெழுவிற்கும் துளை அமைப்பிற்குமுள்ள தொடர்பு

இலட்சிய பாய்ம ஓட்டங்களில் பாயுவீதக் கெழுவானது துளை இருக்கும் அமைப்பின் எல்லைகளைச் சார்ந்ததென்றும், மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங்களில் பாய்மத்தின் பாகுநிலையையும் எல்லையையும் சார்ந்ததென்றும் பார்த்தோம். இந்தப் பகுப்பாய்வு துளையிலிருந்து வளிமண்டலத்தில் பாயும் தாரைகளுக்கு மட்டுமின்றி ஒரு திரவத்திலிருந்து மற்றொரு திரவத்திற்குப் பாயும் தாரைக்கும், வாயுவானது ஒரு பாத்திரத்திலிருந்து மற்றொரு பாத்திரத்திற்குத் துளைவழியாக தாரையாகப் பாய்வதற்கும் பொருந்தும்.



படம் 4·14. வளைந்த விளிம்புத் துளை

C_d-யின் மதிப்பை அதிகரிக்கத் துளையின் சுவரை நீள் வட்டத்தில் (ellipse) அல்லது வட்டத்தில் கால் பாதி இருக்கும்படி படம் 4·14-ல் உள்ளபடி அமைக்கலாம். இந்த நுழைவாயானது (inlet) மணிக்கூண்டின் அமைப்பு போன்றிருப்பதால் பிரிதல் (separation) தவிர்க்கப்பட்டு C_c-யின் மதிப்பு ஏறத்தாழ ஒன்றுகிறது. ஆனால் C_v-யின் மதிப்பு தடையால் ஒன்றுக்குச் சிறிது குறைவாகவே இருக்கும். துளையில் திசைவேகப் பகிர்வு துளையின் எல்லையைப் பொருத்தது.

4·12. மூழ்கிய துளை (Submerged Orifice)

துளையின் வெளிப்புறத்தில் திரவமட்டம் துளையின் மேல் மட்டத்தைவிட உயரமாக இருக்குமானால், அப்படிப்பட்ட நிலையிலுள்ள துளையை மூழ்கிய துளை என்கிறோம். படம் 4·15-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி மேற்புறம், கீழ்ப்புறம் முறையே h_1, h_2 தலைப்புகளுடைய மூழ்கிய சிறிய துளையை எடுத்துக் கொள்வோம். அந்தத் துளையின் மத்திய அச்சிலுள்ள 1, 2 புள்ளிகளில் பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைச் செயல்படுத்தினால்,

$$\frac{p_1}{w}+\frac{V_1^2}{2g}+Z_1=\frac{p_2}{w}+\frac{V_2^2}{2g}+Z_2$$

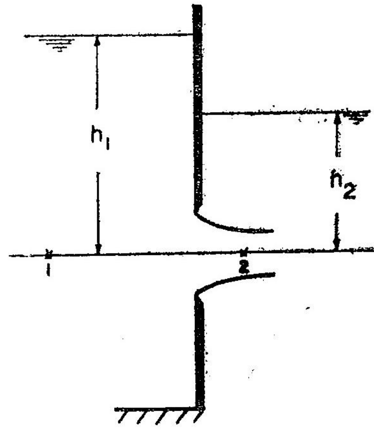
$$Z_1=Z_2, \frac{p_1}{w_1}=h_1, \ \frac{p_2}{w}=h_2, \ V_1=0 \text{ ஆதலால்,}$$

$$V_2=\sqrt{2g\,(h_1-h_2)}$$

இதிலிருந்து h என்பது துளையின் இரு புறங்களிலுமுள்ள தலைப்புகளின் வேறுபாட்டைக் குறிக்குமானால், டாரிசெல்லித் தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தலாம் எனத் தெரிகிறது. முன்போல் உண்மையான பாயுவீதமானது,

$$Q = C_d\, a \sqrt{2g\,(h_1 - h_2)} \quad (4{\cdot}26)$$

இதில் C_d என்பது பாயுவீதக் கெழுவையும், a என்பது துளையின் பரப்பையும் குறிக்கும்.

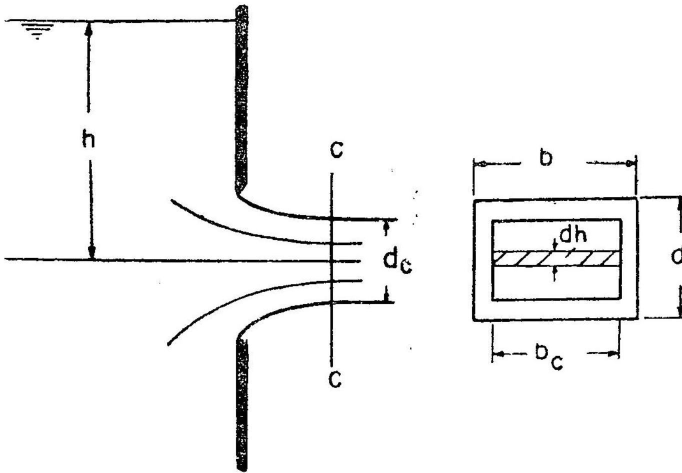


படம் 4·15. மூழ்கிய துளை

மூழ்கிய துளையிலிருந்து வெளிவரும் தாரையின் குறுக்கக் கெழு, பாயுவீதக் கெழு ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் கட்டற்ற தாரை (free jet) களில் உள்ள மதிப்புகளுக்குச் சமமாக இருக்குமெனக் கொள்ளலாம்.

4·13. பெரிய துளை (Large Orifice)

படம் 4·16-ல் உள்ளபடி h என்ற நிலையான தலைப்பில் b அகலமும் d உயரமும் உள்ள பெரிய துளையிலிருந்து வளிமண்டலத்தில்



படம் 4·16. பெரிய துளை

பாயும் தாரையை எடுத்துக்கொள்வோம். CC என்ற தாரைக் குறுக்கத்தில் திசைவேகப் பகிர்வு சீராக இராது; எந்த ஒரு புள்ளியிலும் திசைவேகமானது அந்தப் புள்ளியில் செயற்படும் தலைப்பின் வர்க்கமூலத்திற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். ஆனால் CC-யில் இழைக் கோடுகள் இணையாக இருப்பதாலும், கட்டற்ற தாரையானதாலும் அழுத்தமானது வளிமண்டல அழுத்தமாக இருக்கும். ஆகவே, துளையின் வழி வெளிவரும் பாயுவீதத்தை dh ஆழமுள்ள கிடையாகவுள்ள சிறிய பட்டை வடிவான பரப்பை எடுத்து அதன் வழி பாயும் பாயுவீதத்தைத் தொகையிடுவதிலிருந்து கணக்கிடலாம்.

சிறிய பரப்பின் வழியாகப் பாயுவீதமானது,

$$dQ = C_v\, b_c\; dh\, \sqrt{2gh}$$

ஆகவே,

$$Q = C_v\, b_c \sqrt{2g} \int_{h-(d_c/2)}^{h+(d_c/2)} h^{\frac{1}{2}}\, dh$$

$$= \tfrac{2}{3} C_v\, b_c \sqrt{2g} \left[\left(h + \frac{d_c}{2}\right)^{\frac{3}{2}} - \left(h - \frac{d_c}{2}\right)^{\frac{3}{2}} \right]$$

இதில் C_c என்ற குறுக்கக் கெழுவின் மதிப்பை எளிதில் அடைய வழியில்லையாதலால் மேலே உள்ள சமன்பாட்டை வசதிக்காக கீழ்க்கண்டவாறு எழுதிக் கொள்ளலாம். இதில் C_d என்ற பாயுவீதக் கெழு எல்லைகளின் விளைவையும், தடையின் விளைவுகளையும் உள்ளடக்கியுள்ளது.

$$Q = \tfrac{2}{3} C_d\; b \sqrt{2g} \left[\left(h + \frac{d}{2}\right)^{\frac{3}{2}} - \left(h - \frac{d}{2}\right)^{\frac{3}{2}} \right] \qquad (4{\cdot}27)$$

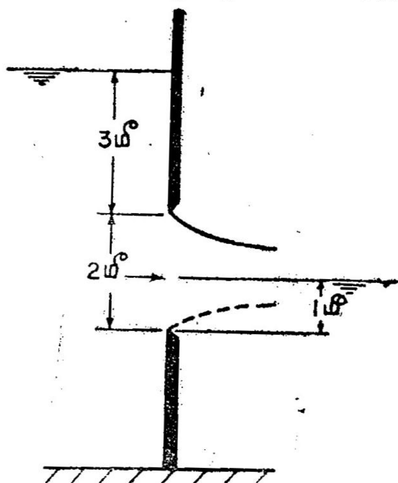
இதில் V_a என்ற அணுகு திசைவேகத்தையும் எடுத்துக் கொண்டால்,

$$Q = \tfrac{2}{3} C_d\; b \sqrt{2g} \left[\left(h + \frac{d}{2} + \frac{V_a^{\,2}}{2}\right)^{\frac{3}{2}} - \left(h - \frac{d}{2} + \frac{V_a^{\,2}}{2g}\right)^{\frac{3}{2}} \right] (4{\cdot}28)$$

இந்தப் பெரிய துளையில் கீழ்ப்புறத்திலுள்ள (downstream) திரவமட்டம் துளையின் மேல் விளிம்பைவிட உயரத்திலிருந்தால் அதை மூழ்கிய துளை என்கிறோம். ஆனால் கீழ்ப்புற திரவமட்டம்

மேல் விளிம்பிற்குக் கீழும், அடி விளிம்பிற்கு மேலும் இருக்குமானால், அத் துளையைப் பகுதி மூழ்கிய துளை (partially submerged large orifice) என்கிறோம். மூழ்கிய பகுதியிலுள்ள பாயுவீதத்தைக் கணக்கிட சிறிய துளைக்கான சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தலாம். பாயுவீதக் கெழுவில் மாற்றம் கவனிக்கத்தக்க அளவு இல்லை. ஆகவே, சிறிய துளைக்கான பாயுவீதக் கெழுவைப் பயன்படுத்தலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 4·9. 2 மீ சதுர வடிவமுள்ள மதகின் மேற்புறம் நீரானது துளையின் மேல் விளிம்பிலிருந்து 3 மீ உயரத்திலிருக்கிறது. கீழ்ப்புறத்தில் நீர்மட்டமானது துளையின் அடித் தளத்திலிருந்து 1 மீ உயரத்தில் இருக்குமானால் பாயுவீதம் என்ன ? $C_d=0·62$.



மதகுத் துளையின் மேற்பாதி உயரத்தின் வழியாகப் பாயும் நீரின் வீதத்தைக் கட்டற்ற பெரிய துளை என எடுத்துக் கொண்டு கணக்கிடலாம். கீழ்ப் பாதி முழுவதும் மூழ்கிய துளையாகும். மேற்பாதியின் வழியாக வெளிவரும் பாயுவீதமானது,

$$Q_1=0·62\times 2\times\sqrt{2g}\left[4^{3/2}-3^{3/2}\right]$$

கீழ்ப்பாதியின் வழியாகப் பாயுவீதமானது,

$$Q_2=0·62\times 2\times 1\times\sqrt{2g\times 4}$$

மொத்தப் பாயுவீதம், $Q=Q_1+Q_2$

$$=0·62\times 2\times\sqrt{2g}\left[4^{3/2}-3^{3/2}+4^{1/2}\right]$$

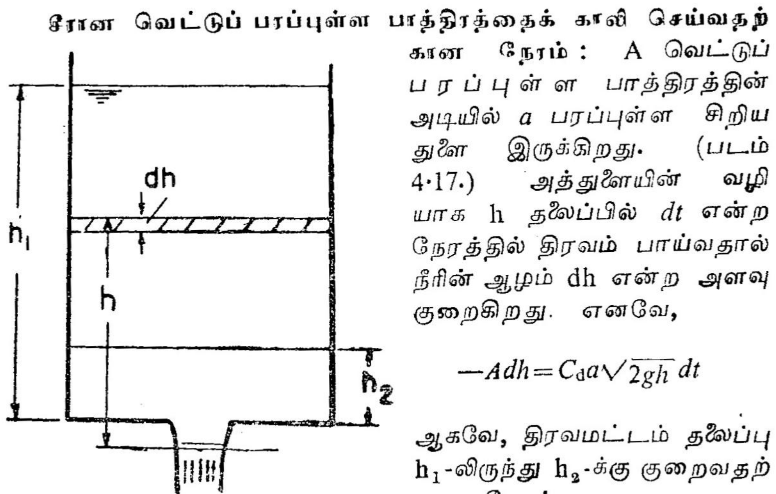
$$=28·5 \text{ மீ}^3/\text{வி}.$$

4·14. சிறிய துளையின் வழியாக நிலையற்ற பாய்ச்சல் (Unsteady Flow through a Small Orifice)

எந்தப் பொறியியற் அமைப்புகளில் திரவத்தின் உயரம் குறையும் அல்லது அதிகரிக்கும் வீதம் மிக மிகக் குறைவாக

இருக்குமோ, அங்கெல்லாம் துளைவழியாகப் பாயுவீதத்தைக் கணக்கிட நிலையான பாய்ச்சலுக்கான சமன்பாடுகளைப் பயன் படுத்தலாம். இப்போது கீழ்க்கண்ட இரண்டு நிலையற்ற நிலைமை களை எடுத்துக் கொண்டு அவற்றின் பாய்ச்சல்களைப் பற்றி படிப் போம். (1) ஒரு பாத்திரத்திலிருந்து திரவம் தாரையாக வெளிப் பாய்வதால் ஏற்படும் உயரக் குறைவுக்கான நேரம். (2) ஒரு பாத்திரத்திலிருந்து மற்றொரு பாத்திரத்திற்கு நீர் பாய்தல்.

சீரான வெட்டுப் பரப்புள்ள பாத்திரத்தைக் காலி செய்வதற் கான நேரம் : A வெட்டுப் பரப்புள்ள பாத்திரத்தின் அடியில் a பரப்புள்ள சிறிய துளை இருக்கிறது. (படம் 4·17.) அத்துளையின் வழி யாக h தலைப்பில் dt என்ற நேரத்தில் திரவம் பாய்வதால் நீரின் ஆழம் dh என்ற அளவு குறைகிறது. எனவே,



படம் 4·17. துளையின் வழி திரவம் வெளிவருதல்

$$-Adh = C_d a\sqrt{2gh}\,dt$$

ஆகவே, திரவமட்டம் தலைப்பு h_1-லிருந்து h_2-க்கு குறைவதற் கான நேரம்,

$$t = \int dt = -\frac{A}{C_d a\sqrt{2g}}\int_{h_1}^{h_2} h^{\frac{1}{2}}\,dh$$

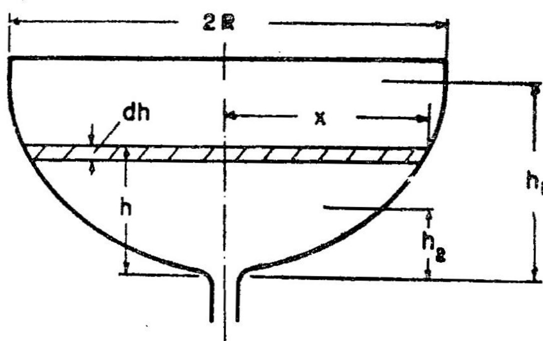
$$\therefore \quad t = \frac{2A}{C_d a\sqrt{2g}}\left[h_1^{\frac{1}{2}} - h_2^{\frac{1}{2}}\right] \qquad (4·29)$$

h_2-வின் மதிப்பு சுழியாக இருக்கும்போது பாத்திரத்திலுள்ள திரவம் முழுவதும் வெளிப்பட்டிருக்க வேண்டும். h என்ற தலைப்பைப் பாத்திரத்தின் அடிமட்டத்திலிருந்து பொதுவாக அளக் கிறோம். ஆனால் கொள்கை ரீதியாகப் பார்த்தால், தாரைக் குறுக்கத்திலிருந்துதான் தலைப்பை அளக்கவேண்டும்.

மாதிரிக் கணக்கு 4·10. அரைக் கோள வடிவமுள்ள பாத்தி ரத்தின் அடியிலுள்ள சிறிய துளையின் மூலம் பாத்திரத்தில்

முழுவதும் நிரம்பியுள்ள நீரை வெளிப்படுத்தத் தேவையான நேரத்தைக் கணக்கிடு.

அரைக் கோளத்தின் ஆரம் R-ஆகவும், துளையின் பரப்பு a-ஆகவும் இருக்கட்டும். பாத்திரத்தின் அடியிலிருந்து h உயரத்திலுள்ள dh என்ற கனமுள்ள கனஅளவை எடுத்துக்கொள்வோம். இது படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த இடத்தில் ஆரம் x என்றால்,



$$x^2 = R^2 - (R-h)^2 = 2Rh - h^2$$

dt என்ற நேரத்தில் வெளிப்படும் பாயுவீதமானது,

$$dq = \pi x^2 dl = -C_d\, a \sqrt{2gh}\, dt$$

எனவே,

$$dt = -\frac{\pi\,(2Rh - h^2)\,dh}{C_d\, a \sqrt{2gh}}$$

தொகையிட்டால்,

$$t_1 - t_2 = \frac{\pi}{C_d a \sqrt{2g}} \int_{h_2}^{h_1} (2Rh^{\frac{1}{2}} - h^{\frac{3}{2}})dh$$

$$= \frac{\pi}{C_d\, a \sqrt{2g}} \left[\frac{4}{3} Rh^{\frac{3}{2}} - \frac{2}{5}\, h^{\frac{5}{2}}\right]_{h_2}^{h_1}$$

இப்போது $h_1 = R$, $h_2 = 0$-ஆக இருக்குமானால்,

$$t = \frac{2\pi}{C_d\, a \sqrt{2g}} \left[\frac{2}{3} R^{\frac{5}{2}} - \frac{1}{5} R^{\frac{5}{2}}\right] = \frac{14\pi R^{\frac{5}{2}}}{15 C_d\, a \sqrt{2g}}$$

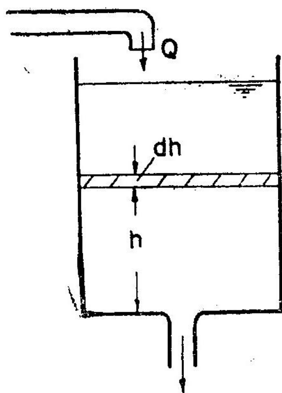
மாதிரிக் கணக்கு 4·11. சீரான A பரப்புள்ள பாத்திரத்தில் நீரின் மட்டத்தை உயர்த்த அதனுள் Q அளவு பாயுவீதத்தில் நீர் விழுந்து கொண்டும், அதே நேரத்தில் அடியிலுள்ள துளை வழியாக நீர் வெளியேறிக்கொண்டும் இருந்தால், நீரின் மட்டம் குறிப்பிட்ட அளவு உயர எவ்வளவு நேரமாகும் ?

சிறிய துளையில் தொழிற்படும் தலைப்பு h வெளியேறும் நீரின் வீதம் பாத்திரத்தினுள் பாயும் நீரின் வீதத்தை விடக் குறைவாக இருப்பதால், நீரின் மட்டம் உயர்கிறது. நீரின் ஆழம் h_1-லிருந்து h_2-க்கு அதிகரிப்பதற்குத் தேவையான நேரத்தை கணக்கிட வேண்டியதிருக்கிறது.

$$q = C_d\, a\sqrt{2gh} = K\sqrt{h}$$

dt என்ற நேரத்தில் நீர்மட்டம் dh அளவு உயருமானல்,

$$Adh = Qdt - qdt = (Q - K\sqrt{h})\,dt$$



எனவே, பாத்திரத்தில் நீரானது h_1-லிருந்து h_2-க்கு உயரத் தேவையான நேரமாவது,

$$t = \int_{t_1}^{t_2} dt = \int_{h_1}^{h_2} \frac{Adh}{Q - K\sqrt{h}}$$

$Z = Q - K\sqrt{h}$ ஆக இருக்கட்டும்.

எனவே, $dZ = -\dfrac{Kdh}{2\sqrt{h}}$

$$dh = -\frac{2\sqrt{h}}{Kdh}dZ = -\frac{2(Q-Z)}{K^2}dZ$$

ஆகவே,

$$t = -\frac{2A}{K^2}\int \frac{Q-Z}{Z}dZ = -\frac{2A}{Z^2}\int\left(\frac{Q}{Z} - 1\right)dZ$$

$$= -\frac{2A}{K^2}\Big[Q \log_e Z - Z\Big]$$

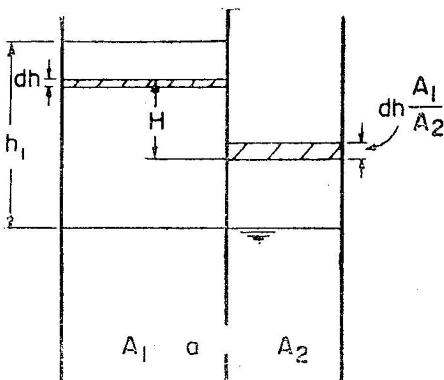
$$= -\frac{2A}{K^2}\Big[Q \log_e (Q - K\sqrt{h}) - (Q - K\sqrt{h})\Big]_{h_1}^{h_2}$$

$$= -\frac{2A}{K^2}\left[Q \log_e \frac{(Q - K\sqrt{h_1})}{(Q - K\sqrt{h_2})} + K(\sqrt{h_1} - \sqrt{h_2})\right]$$

$q = Q$-ஆக இருக்கும்போது நீர்மட்ட ஆழம் நிலையாக மாறாமல் இருக்கும்.

4·15. ஒரு பாத்திரத்திலிருந்து மற்றொரு பாத்திரத்திற்குத் திரவம் துளை வழி செல்லுதல்

அடுத்தடுத்துள்ள A_1, A_2 என்ற சீரான பரப்புகளையுடைய இரண்டு பாத்திரங்களின் அமைப்பும், அவற்றின் பொதுச் சுவற்றில் a பரப்புள்ள துளையும் படம் 4·18-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. துளை முழுவதும் மூழ்கியுள்ளது. இரண்டு பாத்திரங்களிலுமுள்ள நீர்மட்ட உயரங்களின் வேறுபாட்டை h_1-லிருந்து h_2-ஆகக் குறைக்கத் தேவையான நேரம் எவ்வளவு எனக் கணக்கிடுவோம்.



படம் 4·18. பாத்திரங்களுக்கிடையிலுள்ள துளை வழியாகப் பாய்ச்சல்

ஒரு குறிப்பிட்ட நொடியில் நீர் மட்டங்களின் வேறுபாடு H-ஆக இருக்கட்டும். A_1 என்ற பாத்திரத்தில் தலைப்பு dh என்ற அளவு குறையுமானால், நீர்மட்ட வேறுபாடு H-ல் ஏற்படும் மாற்றமானது.

$$dH = dh\left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right)$$

dt என்ற நேரத்தில் a பரப்புள்ள துளையின் வழியாகப் பாயும் நீரை A_1 என்ற பாத்திரத்தில் குறையும் நீருக்குச் சமமாக்கினால்,

$$-A_1 dh = C_d\, a \sqrt{2gH}\, dt$$

$$dt = -\frac{A\,dh}{C_d\, a \sqrt{2gH}} = -\frac{A_1\, dH}{C_d\, a \sqrt{2gH}\left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right)}$$

ஆகவே,

$$t = \frac{A_1}{C_d\, a \sqrt{2g}\left(1 + \frac{A_1}{A_2}\right)} \int_{h_2}^{h_1} \frac{dH}{\sqrt{H}}$$

$$t=\frac{2A_1(h_1^{\frac{1}{2}}-h_2^{\frac{1}{2}})}{C_d\, a\sqrt{2g}\left(1+\frac{A_1}{A_2}\right)} \qquad (4{\cdot}30)$$

h_2 சுழியானால், திரவம் பாய்வது நின்றுவிடுவதற்கான நேரம் கிடைக்கும்.

4·16. திரவத் தாரை (Liquid Jet)

ஒரு முனையிலிருந்து வேகத்துடன் வளிமண்டலத்தில் வெளிப்படும் நீர்த் தாரையின் பாதையை பெர்னூலிச் சமன்பாட்டால் நிர்ணயிப்போம். தாரையைச் சுற்றியுள்ள அழுத்தம் வளிமண்டல அழுத்தமாக இருக்குமாதலால், அந்த அழுத்தத்தைச் சுழியாக எடுத்துக் கொள்வோம். தாரையின் எந்தப் புள்ளியிலும் மொத்தத்

படம் 4·19. பெர்னூலிச் சமன்பாட்டை தாரைக்குப் பயன்படுத்தல்

தலைப்பானது திசைவேகத் தலைப்பு, மட்டத் தலைப்பு(elevation head) ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகையாகும். இப்போது கிடைத் தளத்திற்கு θ கோணத்தில் சாய்ந்து முனையிலிருந்து V_0 வேகத்தில் வெளிமண்டலத்தில் பாயும் தாரையை எடுத்துக் கொள்வோம். படம் 4·19 முனைவழிச் செல்லும் கிடைத்தளத்தை நாம் மட்ட அளவையாக எடுத்துக் கொண்டால், முனையின் வெளிவாயிலில் மொத்தத் தலைப்பானது $\frac{V_0^2}{2g}$ ஆகும். காற்றின் உராய்வுத் தடைகளை நாம் புறக்கணித்து விட்டால், திசைவேகத்தின் கிடைக் கூறான $(V_0)_x$-ன் மதிப்பு நேரத்திற்கு நேரம் மாறாமல் x-திசையில் ஒரே நிலையாக இருக்கும். ஆனால் திசைவேகத்தின் செங்குத்துக் கூறு புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தால் குறைய ஆரம்பித்து $Z=Z_{பெருமம்}$ ஆக இருக்கும் போது சுழியாகிறது. t என்ற நேரத்தில் தாரையிலுள்ள ஒரு புள்ளி கடக்கும் கிடைத் தூரமானது,

$$x=(V_0)_x t \qquad (4{\cdot}31)$$

செங்குத்துத் தூரமானது,

$$y=(V_o)_y\,t-\tfrac{1}{2}gt^2 \qquad (4{\cdot}32)$$

திசைவேகத்தின் செங்குத்துக் கூறுன $(V_o)_y$, t என்ற நேரத்தில்,

$$(V_o)_y=(V_o)_y t-gt$$

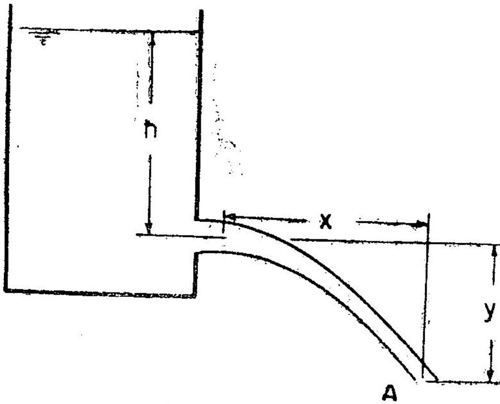
தாரையின் பாதையில் எந்த இடத்திலும் திசைவேகத்தின் மதிப்பானது $\sqrt{V_x^2+V_y^2}$

மாதிரிக் கணக்கு 4·12. ஒரு கூரிய விளிம்புள்ள துளையிலிருந்து வெளிவரும் தாரையின் திசைவேகக் கெழுவை அந்தத் தாரையின் அச்சுத் தூரங்களை அளந்து எவ்வாறு கணிப்பாய்?

பாத்திரத்திலுள்ள துளையின் மேல் தொழிற்படும் தலைப்பு h-ஆக இருக்கட்டும். தாரையிலுள்ள A என்ற புள்ளியின் தூரம் தாரைக் குறுக்கத்திலிருந்து x,y என்று படத்திலுள்ளபடி குறிக்கப்படட்டும்.

தாரைக் குறுக்கத்தில் திசைவேகம் $=V$

$$\therefore\ x=Vt \qquad y=\tfrac{1}{2}gt^2$$



t என்ற நேரத்தை மேலே உள்ள சமன்பாடுகளிலிருந்து நீக்கினல்,

$$\frac{x^2}{V^2}=\frac{2y}{g}$$

ஆனல் திசைவேகக் கெழுவான $C_v=\dfrac{V}{\sqrt{2gh}}$

V-க்கு, பதில் x, y மூலம் எழுதினால்

$$C_v = \sqrt{\frac{x^2}{4yh}}$$

C_cயானது சோதனைகளிலிருந்து அளந்து அறியப்படுமானால் C_d-யை இப்போது அடையலாம்.

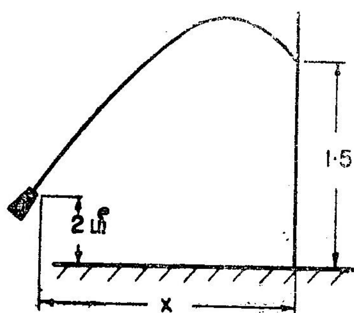
மாதிரிக் கணக்கு 4·13. ஒரு முனையிலிருந்து வெளிவரும் நீர்த் தாரை தீயை அணைக்கத் தரையிலிருந்து 15 மீ உயரம் வரை பாய வேண்டியதிருக்கிறது. அந்த முனை தரையிலிருந்து 2 மீ உயரத்திலிருக்குமானால், தீயணைப்பவர் அந்தக் கட்டடத்திற்கு எவ்வளவு அதிக தூரத்திலிருந்து அந்த முனையைப் பிடிக்க வேண்டும்? முனையிலிருந்து வெளிப்படும் தாரையின் திசைவேகம் 25 மீ/வி. காற்றுத் தடையைப் புறக்கணிக்கவும்.

$$V = 25 \text{ மீ/வி}$$

செங்குத்துக் கூறு $(V_0)_y = 25 \sin 45° = 17{\cdot}7$ மீ/வி

கிடைக் கூறு $(V_0)_x = 25 \cos 45° = 17{\cdot}7$ மீ/வி

இப்போது



$$y = (V_0)_y t - \tfrac{1}{2} g t^2$$

ஆனால் $y = 15 - 2 = 13$ மீ

$$\therefore\ 13 = 17{\cdot}7t - \tfrac{1}{2} \times 9{\cdot}81 \times t^2$$

t-க்காகத் தீர்த்தால்,

$t = 1{\cdot}1$ அல்லது $2{\cdot}66$ வினாடிகள்

இவை பெரும உயரத்திற்கு முன்னும், பின்னுமாக இரண்டு புள்ளிகளைக் குறிக்கும். நமக்கு அதிக தூரம் வேண்டுமாதலால் $t = 2{\cdot}66$வி-யை எடுத்துக்கொண்டால்,

$$x = (V_0)_x \times 2{\cdot}66$$

$$= 17{\cdot}7 \times 2{\cdot}66 = 47 \text{ மீ.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 4·14. படத்திலுள்ளபடி A என்ற பாத்திரத்திலிருந்து B என்ற பாத்திரத்திற்கு 50 மிமீ விட்டத் துளையின் வழியாக நீர் பாய்கிறது. வெற்றிடமானியின் (vacuum gauge) காட்சிப்பதிவு (reading) 0·75 கிகிஎ/செமீ² ஆனால் பாயுவீதமென்ன? $C_d = 0{\cdot}6$.

$d = 50$ மிமீ $= 0{\cdot}05$ மீ

எண்ணெயின் ஆழத்தை நீரின் ஆழத்திற்குச் சமமாக எழுதினால்,

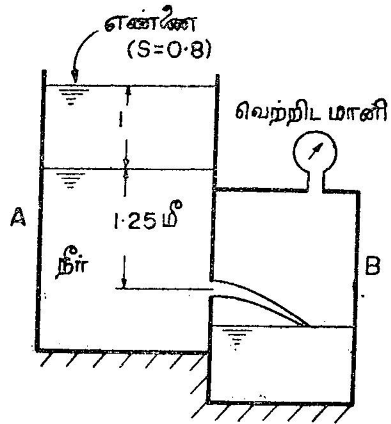
$1 \times 0{\cdot}8 = 0{\cdot}8$ மீ ஆகும்.

எனவே, துளையில் மொத்தத் தலைப்பு $= 1{\cdot}25 + 0{\cdot}8$

$= 2{\cdot}05$ மீ நீர் உயரம்

வெற்றிடமானியின் அழுத்தம் $= -0{\cdot}75$ கிகி/ச.செமீ

$= -7{\cdot}5$ மீ நீர் உயரம்



துளையில் நிகர அழுத்தம் $= [2{\cdot}05 - (-7{\cdot}5)] = 2{\cdot}05 + 7{\cdot}5$

$= 9{\cdot}55$ மீ நீர் உயரம்

பாயுவீதம் $= C_d \, a \sqrt{2gh}$

$$= 0{\cdot}6 \times \frac{\pi}{4} \times (0{\cdot}05)^2 \times \sqrt{2 \times 9{\cdot}81 \times 9{\cdot}55}$$

$= 16{\cdot}3 \times 10^{-4}$ மீ^{3}/வி

$= 1.63$ லி/வி.

மாதிரிக் கணக்கு 4·15. நீரியல் ஆய்வுக் கூடத்திலுள்ள (hydraulic laboratory) பாதாளத் தொட்டியின் (sump) நீளம் 25 மீ, அகலம் 2 மீ, ஆழம் 3 மீ. அது 15 மீ நீளத்தில் இரண்டு பாகங்களாக ஒரு குறுக்குச் சுவரால் பிரிக்கப்படுகிறது. இப்போது இரண்டு தொட்டிகளிலுமுள்ள நீர்மட்ட வேறுபாடு 1·5 மீ-ஆக இருக்கிறது. பெரிய பாகத்தில் நீரின் ஆழம் அதிகம். இந்த வேறுபாட்டை 0·5மீ-ஆகக் குன்றக்க குறுக்குச் சுவற்றினடியிலுள்ள 0·1 மீ × 0·1 மீ துளையானது முழுவதும் திறந்துவிடப்பட்டால், அதற்காகும் நேரம் எவ்வளவு எனக் கணக்கிடு. $C_d = 0{\cdot}59$.

$A_1 = 15 \times 2 = 30$ மீ^{2}

$A_2 = 10 \times 2 = 20$ மீ^{2}

துளையின் பரப்பு $= 0{\cdot}1 \times 0{\cdot}1 = 0{\cdot}01$ மீ^{2}

நீர்மட்ட வேறுபாடு $h_1 = 1{\cdot}5$ மீ

$h_2 = 0{\cdot}5$ மீ

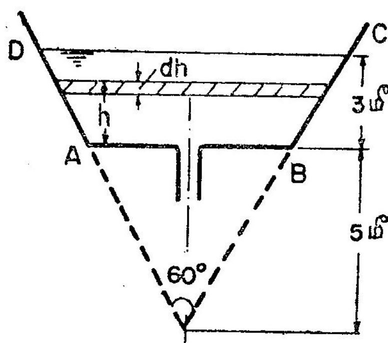
$C_d = 0{\cdot}59$

சமன்பாடு 4·30-ஐப் பயன்படுத்தினால்,

$$t=\frac{2\times 30\ (1\cdot5^{\frac{1}{2}}-0\cdot5^{\frac{1}{2}})}{0\cdot59\times0\cdot01\ \sqrt{2\times9\cdot81}\times\left(1+\frac{30}{20}\right)}$$

$=476$ விநாடிகள்.

மாதிரிக் கணக்கு 4·16. படத்திலுள்ள சாய்ந்த பக்கங்களையும் செங்குத்தான பக்கங்களையுமுடைய 5 மீ நீளத் தொட்டியின் அடிப்பாகத்தில் 3000 மிமீ² பரப்புள்ள துளை இருக்கிறது. அந்தத் தொட்டியிலுள்ள நீரைக் காலி செய்ய எவ்வளவு நேரமாகும்? $C_d=0\cdot61$.



துளையின் பரப்பு

$=3\times10^3$ மிமீ² $=3\times10^{-3}$ மீ²

அடித்தளத்தின் அகலம்

$=2\times5\tan30^\circ=\frac{10}{\sqrt{3}}$ மீ

சிறிய தனிமத்தின் அகலம்

$$=\frac{10}{\sqrt{3}}+2h\tan30^\circ$$

$$=\frac{(10+2h)}{\sqrt{3}}$$

dh ஆழம் நீர் வழிவதற்கான நேரம் dt ஆனால்,

$$-Adh=-\frac{(10+2h)}{\sqrt{3}}\times5\times dh=C_d\ a\sqrt{2gh}\,dt$$

$$dt=\frac{-5\ (10+2h)\ h^{-\frac{1}{2}}\,dt}{\sqrt{3}\times0\cdot61\times3\times10^{-3}\times4\cdot42}$$

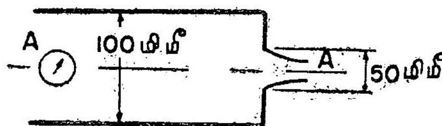
$$t=-0\cdot357\times10^3\int_3^0\left(10h^{-\frac{1}{2}}+2h^{\frac{1}{2}}\right)dh$$

$$=357\left[20h^{\frac{1}{2}}+\tfrac{4}{3}h^{\frac{3}{2}}\right]_0^3$$

$=357\ (20\sqrt{3}+4\sqrt{3})$ விநாடிகள்

$$=\frac{357\times41\cdot54}{3600}=4\cdot12$$ மணி.

மாதிரிக் கணக்கு 4·17. ஓர் நீர்த் தாரையின் இயக்க ஆற்றல் (kinetic energy) 2·5 பரிதிறன் (1·8 கிவா) ஆகும். நீர்த் தாரை வெளிவரும் அமைப்பு படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இப்படிப்பட்ட நிலையில் அழுத்தமானியின் அளவு என்ன?



$d = 50$ மிமீ $\qquad \dfrac{d}{D} = 0\cdot5$

$D = 100$ மிமீ

படம் 4·13-லிருந்து $\qquad C_c = 0\cdot64$

$C_d = 0\cdot655$

எனவே, வெளிவரும் நீர்த் தாரையின் விட்டம் $= 50 \times \sqrt{0\cdot64}$

$= 50 \times 0\cdot8$

$= 40$ மிமீ

தாரையின் திசைவேகம் V-ஆக இருக்கட்டும். தாரையிலுள்ள நீரின் இயக்க ஆற்றலானது வினாடிக்கு

$$\frac{1}{2}\frac{wQ}{g}V^2$$

இதில் Q என்பது பாயுவீதத்தைக் கன அளவில் குறிக்கும்.

ஆனால் $Q = C_d\ A\ V = 0\cdot655 \times \dfrac{\pi \times 0\cdot05^2}{4} V$ ஆகும்.

MKS முறையில்

இயக்க ஆற்றல் $= 2\cdot5$ பரிதிறன்

$= 75 \times 2\cdot5 = 187\cdot5$ கிகிஎ-மீ/வி

ஆகவே,

$$\frac{1}{2}\frac{wQ}{g}V^2 = \frac{1}{2}\frac{wC_dA\ V^3}{g} = 187\cdot5$$

$$\frac{1000 \times 0\cdot655 \times \pi \times 0\cdot05^2}{2 \times 9\cdot81 \times 4} \times V^3 = 187\cdot5$$

$\therefore\ V = 14\cdot2$ மீ/வி

பெர்னுலிச் சமன்பாட்டை AA என்ற கிடைக் கோட்டில், உராய்வுத் தடையைப் புறக்கணித்துவிட்டுப் பயன்படுத்தினால்,

$$\frac{p}{w}+\frac{3{\cdot}54^2}{2\times9{\cdot}81}=\frac{14{\cdot}2^2}{2\times9{\cdot}81}$$

$$\frac{p}{w}=9{\cdot}62 \text{ மீ நீர் உயரம்}$$

$$p=0{\cdot}962 \text{ கிகி/செமீ}^2$$

அழுத்த மானியில் காட்சிப்பதிவு $=0{\cdot}962$ கிகி/செமீ^{2}.

SI முறையில்

ஒரு வினாடிக்கு இயக்க ஆற்றல் $=1{\cdot}84$ கிநிமீ

$=1840$ நிமீ

V திசைவேகமுள்ள தாரையிலுள்ள இயக்க ஆற்றலானது

$$\tfrac{1}{2}\rho C_d A V^3 = 1840$$

$$\tfrac{1}{2}\times1000\times0{\cdot}655\times\frac{\pi\times0{\cdot}05^2}{4}\times V^3=1840$$

$$V=14{\cdot}2 \text{ மீ/வி}$$

குழாயில் திசைவேகம் $=3{\cdot}54$ மீ/வி

பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினால்,

$$\frac{p}{w}+\frac{3{\cdot}54^2}{2\times9{\cdot}81}=\frac{14{\cdot}2^2}{2\times9{\cdot}81}$$

$$\frac{p}{w}=9{\cdot}62 \text{ மீ நீர் உயரம்}$$

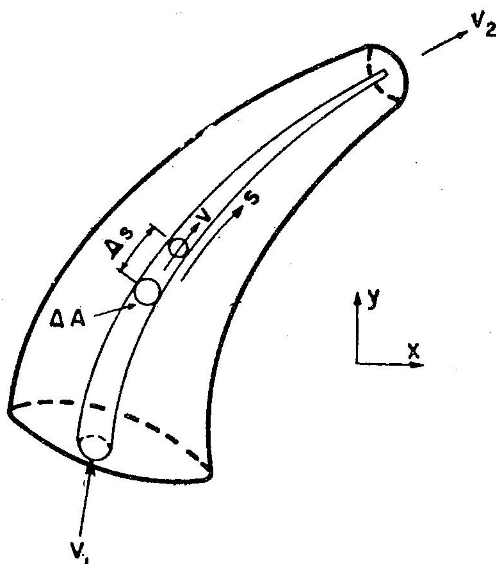
இப்போது $w=9{\cdot}81$ கிநி/மீ^{3}

$$\therefore\ p=9{\cdot}62\times9{\cdot}81=94{\cdot}5 \text{ கிநி/மீ}^2.$$

4·17. உந்தச் சமன்பாடு (The Momentum Equation)

நியூட்டனின் இரண்டாவது விதிப்படி, ஒரு பொருளின் மேற் தொழிற்படும் நிகரப் புற விசையானது அவ்விசை தொழிற்படும் திசையில் அப்பொருளில் நிகழும் உந்த மாற்ற வீதத்திற்குச் சமம் ஆகும். பாய்மம், தொடர்மம் ஆதலால் ஒரு பாய்ம ஓட்டத்தில் ஏதாவது ஒரு துகள் செல்லும் பாதையை திட்டவட்டமாக நிர்ணயிக்க இயலாது. ஆகவே, படம் 4·20-ல் உள்ளபடி ஒரு குவியும் குழாயை ஆட்சிப் பருமனாக (control volume) எடுத்துக் கொண்டு,

அதில் தடையற்ற பாய்மப் பாய்ச்சல் நிகழ்வதால் ஏற்படும் உந்த மாறுபாட்டைப்பற்றி படிப்போம். குவியும் குழாயின் பாகமாகிய



படம் 4·20. இழைக்குழாய் வழியாகப் பாய்ம ஓட்டம்

ஆட்சிப் பருமனின் எந்த வெட்டுப் பரப்பிலும் உள்ள உட்புற விசைகள் வினை (action), எதிர்வினை (reaction) என ஒருங்கிணைந்து நிகழ்வதால் அவைகள் ஒன்றையொன்று அழித்து (cancel) விடுகின்றன. ஆகவே, ஆட்சிப் பருமனில் (control volume) தொழிற்படும் புற விசைகளையும், அதன் எடையையும் எடுத்துக் கொண்டால் மட்டும் போதும். ΔA என்ற வெட்டுப் பரப்பு, Δs என்ற நீளமுள்ள சிறிய இழைக் குழாய் அமைப்புள்ள சிறிய தனிமத்திற் செயற்படும் விசைகளை எடுத்துக்கொள்வோம். அந்தத் தனிமத்தில் திசைவேகம் v-ஆக இருக்கட்டும். ρ அடர்த்தியுள்ள பாய்மத்தில் x-திசையில் தொழிற்படும் விசையானது,

$$dF_x = \frac{d}{dt}(\rho\ ds\ dA\ v)_x$$

$$= \rho\ ds\ dA\left(\frac{\partial v_x}{\partial s}\cdot\frac{ds}{dt} + \frac{\partial v_x}{\partial t}\right)$$

நிலையான ஓட்டத்திற்கு $\frac{\partial v_x}{\partial t}=0$. மேலும் $\frac{ds}{dt}=v$ ஆதலால்,

$$dF_x=\rho\ ds\ dA\ v\frac{dv_x}{ds}$$

$$=\rho\ ds\ dQ\ \frac{dv_x}{ds}$$

அந்தத் தனிமக் குழாயின் வழி பாயும் பாயுவீதம் மாறிலியாதலால், அந்தச் சமன்பாட்டைத் தொகையிட்டால்,

$$\triangle F_x=\rho[(V_x)_2-(V_x)_1]\,dQ$$

வெட்டுமுகங்கள் 1,2-ல் உள்ள முழு வெட்டுப் பரப்பையும் இப்போது எடுத்துக் கொண்டால், அப்பரப்புகளில் சீரான திசை வேகமுள்ளது எனக் கொண்டு, x-திசையில் உண்டாகும் விசை யானது

$$\overrightarrow{F_x}=\sum\triangle F_x=\rho Q[(\overrightarrow{V_x})_2-(\overrightarrow{V_x})_1] \qquad (4\cdot33)$$

இதில் $(V_x)_2$, $(V_x)_1$ முறையே 2, 1 வெட்டுமுகங்களிலுள்ள சராசரித் திசைவேகங்களின் x-திசையிலுள்ள கூறுகளாகும். இந்த F_x நீரின் மீது செயற்படும் விசையாகும்.

இதே போல் பாய்மமானது தானுகத் திசை மாறுவதால், அது செல்லும் பாதையிலுள்ள எல்லைகளில் x-திசையில் செயல் படும் விசையானது மேலே உள்ள மதிப்பிற்கு எதிராகவும் சமமாக வும் இருக்கும். ஆகவே,

$$\overrightarrow{F_x}=\rho Q\ [(\overrightarrow{V_x})_1-(\overrightarrow{V_x})_2] \qquad (4\cdot34)$$

இந்த F_x என்பது பாய்மத்தால் ஆட்சிப் பருமனில் செயற்படும் விசையாகும்.

இதிலுள்ள உந்த மாறுபாடு, திசைவேகத்தின் மதிப்பில் ஏற்படும் மாறுபாட்டாலோ அல்லது திசைவேகத்தின் திசையிலேற் படும் மாறுபாட்டாலோ அல்லது இவ்விரண்டு மாறுபாடுகளும் ஒரே நேரத்திலேற்படுவதாலோ ஏற்படலாம். மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங் களில் பிசுப்பிசுப்புத் தன்மையால் அதாவது பாகுநிலைத் தன்மை யால் ஏற்படும் புற விசையையும் நாம் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும்.

4·18. உந்தத் திருத்தக் கெழு (Momentum Correction Factor)

உந்தச் சமன்பாட்டை வருவிக்கும்போது குவியும் குழாயின் நுழைவாயிலிலும், வெளிவாயிலிலும் திசைவேகப் பகிர்வு சீராக இருப்பதாக எடுத்துக் கொண்டோம். ஆனால் மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங்களில் பாகுநிலை, இரண்டாம் நிலை ஓட்டம் (secondary flow) இவற்றால் திசைவேகப் பகிர்வு சீரற்றதாக இருக்கும். ஆகவே, ஒரு வெட்டுமுகத்தில் உண்மையாக உள்ள உந்தமானது $\int \rho v^2 dA$ ஆகும். இதில் v என்பது dA என்ற சிறிய பரப்பில் திசைவேகத்தையும், ρ அடர்த்தியையும் குறிக்கும். ஆனால் நாம் ஒரு வெட்டுப் பரப்பின் சராசரித் திசைவேகத்தை எடுத்துக் கொண்டால், அமுக்கமற்ற பாய்மத்திற்கு உந்தமானது $\rho V^2 A$ ஆகும். இதில் V சராசரித் திசைவேகமாகும். எனவே, உந்தத் திருத்தக் கெழுவான β

$$= \frac{\int v^2 dA}{V^2 A} = \frac{1}{A} \frac{\int v^2 dA}{\int v dA} \qquad (4\cdot35)$$

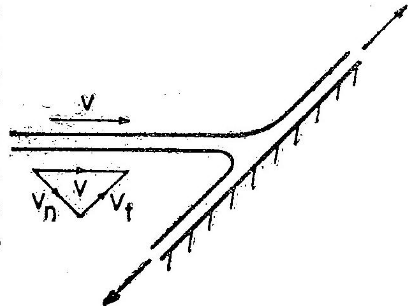
பெரும்பாலான பாய்ச்சல்களுக்கு β-வின் மதிப்பு ஒன்றுக்கு சிறிது அதிகமாக இருக்கும். குழாயில் ஏற்படும் படல ஓட்டத்திற்கு அதன் மதிப்பு 1·33-ஆக இருக்கும்.

4·19. உந்தச் சமன்பாட்டின் சில செயற்பாடுகள்

இந்தப் பகுதியில் சில பொறியியற் சாதனங்களில் உந்தச் சமன்பாடு எவ்வாறு பயன்படுகிறது என்பது விளக்கப்பட்டிருக்கிறது. சில சுழலும் எந்திரங்களில் உந்தத் திருப்புதிறன் (moment of momentum) கொள்கைப் பயன்படுவதால், அக்கொள்கையும் இப்பகுதியில் வருவிக்கப்பட்டுள்ளது.

4·20. தட்டை, வளைந்த தளங்களில் தாரையால் ஏற்படும் விசை (Force Due to Jet on Flat and Curved Plates)

ρ அடர்த்தியுள்ள ஒரு பாய்மத் தாரை V திசைவேகத்துடன் ஒரு தட்டையான தளத்தை θ சாய்வு கோணத்தில் தாக்குவது படம் 4·21-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. தாரையின் குறுக்கு வெட்டுப்பரப்பு a-வாக இருக்கும்போது, அந்தத் தளத்திற்கு நேர்குத்தாகத் தாரையால் உண்டாகும் விசையானது,



படம் 4·21. சாய்ந்த தளத்தில் தாரை

$$F_n = \rho a V(V \sin\theta - 0)$$
$$= \rho a V^2 \sin\theta \qquad (4\cdot36)$$

இத்தாரை தளத்தை நேர்குத்தாகத் தாக்கும் போது ஏற்படும் விசையானது ρaV^2 ஆகும். பாய்மத்திற்கும், தளத்திற்குமிடையே உராய்வு இல்லாவிட்டால், அந்தத் தளத்தில் அதற்கு இணையாக எந்த விசையும் தொழிற்படாது. ஆனால் மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங்களில் சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசை தொழிற்படும்.

படம் 4·21-ல் உள்ளபடி இந்தத் தளமானது v திசைவேகத்தில் தாரையின் திசையில் நகர்வதாக எடுத்துக் கொள்வோம். அப்போது தாரையானது தளத்தை $(V-v)\sin\theta$ என்ற திசை வேகத்தில் தாக்கும். இப்போது ஒரு வினாடிக்குத் தளத்தின் மேல் தாக்கும் தாரையின் பொருண்மையானது $\rho a(V-v)$ ஆக இருக்கும். ஒரு வினாடியில் முனையிலிருந்து வெளிவரும் பொருண்மைக்கும், தளத்தைத் தாக்கும் பொருண்மைக்கும் உள்ள வேறுபாடு வெளியில் தாரையின் பாகமாகத் தங்கி விடுகிறது. இத்தாரையின் பாகம் எக்காலத்திலும் தளத்தைச் சந்திக்க வாய்ப்பில்லை. எனவே, தாரையால் தளத்தில் எற்படும் விசையானது,

$$F = \text{ஒரு வினாடியில் தாக்கும் பொருண்மை} \times \text{தாக்கு திசைவேகம்}$$
$$= \rho a(V-v)\times(V-v)\sin\theta$$
$$= \rho a\,(V-v)^2\sin\theta \qquad (4{\cdot}37)$$

இந்த நகரும் தளமானது, தாரைக்கு நேர்குத்தாக இருக்குமானால், விசையானது $\rho a\,(V-v)^2$ ஆக இருக்கும்.

இந்தத் தாரையானது ஒரு சக்கரத்தின் விளிம்பில் நெருக்கமாக அமைக்கப்பட்டுள்ள தளங்களைத் (தகடுகளை) தொடர்வாக வரும்போது தாக்குமானால், அந்தத் தகடுகளில் ஏற்படும் விசையானது

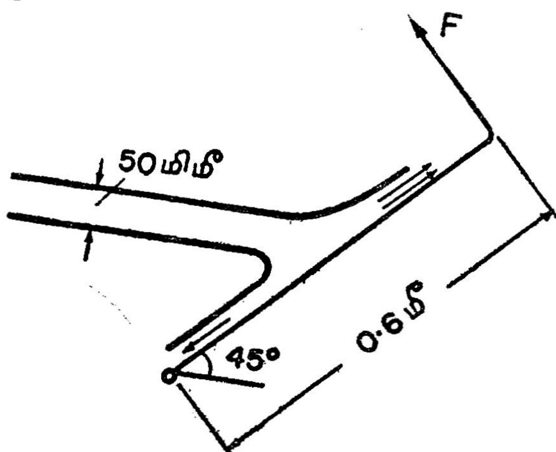
$$F = \text{ஒரு வினாடியில் தாக்கும் பொருண்மை} \times \text{திசைவேக மாறுபாடு}$$
$$= \rho aV\,(V-v) \qquad (4{\cdot}38)$$

மாதிரிக் கணக்கு 4·18. 50 மிமீ விட்டமுள்ள ஒரு தாரை நிலையாக உள்ள ஒரு தகட்டை அதன் மத்தியில் தாக்குகிறது. அந்தத் தகடானது அதன் அடிப்பாகத்தில் கீலால் கிடைத்தளத்திற்கு 45° கோணத்தில் படத்திலுள்ளபடி இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அந்தத் தகட்டின் நீளம் 0·6 மீ. தாரையின் திசைவேகம் V-ஆகவும், பாய்மத்தின் அடர்த்தி ρ ஆகவும் இருக்குமானால், அந்தத் தகட்டின் மேல் விளிம்பில் நேர்குத்தாகச் செயற்படும் எந்த அளவு விசை அதை நிலையில் வைத்திருக்கும்?

$$\text{தளத்திற்கு நேர்குத்தாக விசை} = \rho \times \frac{\pi \times 25}{4} \times V^2 \sin 45^\circ$$

$$= 13{\cdot}9 V^2 \rho$$

அந்தத் தளத்தின் விளிம்பில் செயற்படும் விசை *F*-ஆக இருக்கட்டும்.

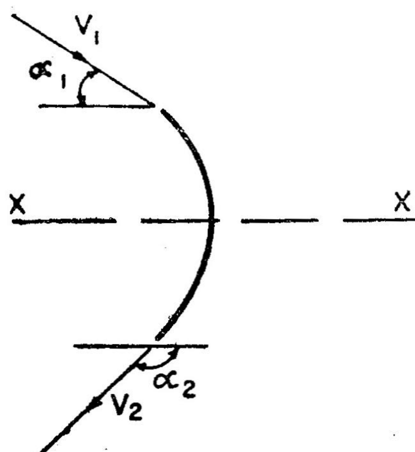


$$F \times 60 = 13{\cdot}9 V^2 \rho \times 30$$

$$F = 6{\cdot}95\ \rho V^2 \text{ டைன்கள்}$$

இதில் ρ என்பது கிராம்/க.செமீ-ஆக இருக்கிறது.

நிலையான வளைந்த தளம் (Fixed Curved Plate): a வெட்டுப் பரப்புள்ள ஒரு தாரை படம் 4·22-ல் உள்ளபடி α_1, α_2 நுழை கோணம் (inlet angle), வெளிக் கோணம் (outlet angle) உள்ள ஒரு வளைந்த தளத்தைத் தாக்குகிறது. இந்தத் தாரை அத்தளத்தின் கோணத்தில் நுழைவதால், அந்நுழைவு இலகுவாக ஏற்படுவதாகக் கொள்ளலாம். இத்தாரையின் நுழைவுத் திசைவேகம், வெளித் திசை



படம் 4·22.
வளைந்த தளத்தைத் தாரை தாக்குதல்

வேகம் முறையே V_1, V_2-ஆக இருக்கட்டும். இப்போது x-திசையில் உண்டாகும் விசையானது,

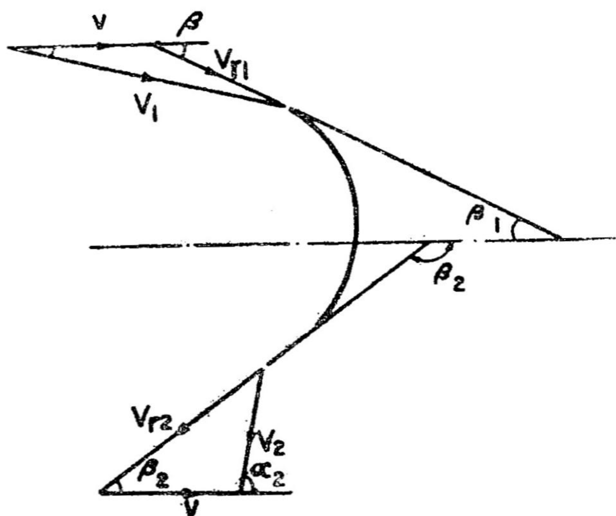
$$F_x = \rho a V_1 (V_1 \cos \alpha_1 - V_2 \cos \alpha_2) \quad (4{\cdot}39)$$

இதில் $\alpha_2 > 90°$ ஆக இருக்குமானால், $V_2 \cos \alpha_2$ என்பது எதிராக (negative) இருக்கும். இந்த வளைந்த தளத்தில் தொழிற்படும் விசையானது ஒரு குறிப்பிட்ட கோணங்களுக்கு அதாவது $\alpha_1 = 0$, $\alpha_2 = \pi$ ஆக இருக்கும்போது பெருமமாக இருக்கும். இப்போது இந்த வளைந்த தளம் பாதிவட்ட வடிவத்தை அடையும். அதிற் தொழிற்படும் விசையானது,

$$F_x = \rho a V_1 (V_1 + V_2)$$

வழவழப்பான, பாதிவட்ட அமைப்புடைய தளத்தில் உண்டாகும் விசையானது தட்டையான தளத்திலுண்டாகும் விசையைவிட இருமடங்காக இருக்கும்.

நகரும் வளைந்த தளங்கள்: வளைந்த தளமானது (படம் 4·23) x-திசையில் v திசைவேகத்தில் நகரட்டும். a பரப்பு, ρ அடர்த்தி,



படம் 4·23. நகரும் வளைந்த தளம்

V_1 தனித் திசைவேகம் உள்ள தாரை அந்தத் தளத்தை நோக்கிப் பாய்கிறது. இப்போது இந்தத் தளத்தை தாரையானது V_{r_1} என்ற ஒப்புத் திசைவேகத்தில் அணுகுகிறது. V_{r_1}-ன் மதிப்பை V_1, v ஆகியவற்றின் மதிப்புகள் தெரியுமானால் திசைவேக முக்கோணத்தி

விருந்து (velocity triangle) அறிந்து கொள்ள முடியும். தாரையானது இந்தத் தளத்தில் இலகுவாக நுழைய வேண்டுமானுல் அது தளத்தின் நுழைவாயிலே தொடுகோட்டுத் திசையில் அணுக வேண்டும். இந்தத் திசைவேகமானது V_{r_1}-ஆக இருக்கட்டும். தளத்தில் உராய்வு இல்லாமலிருந்தால், V_{r_1} என்ற திசைவேகத்தில் தாரையானது வளைந்த தளத்தின் வழியாகச் செல்லும்போது அதன் மதிப்பில் எவ்விதமான மாறுதலும் ஏற்படாது. ஆனுல் தளங்களிலுள்ள உராய்வு காரணமாகத் தாரையானது தடித்து அதன் திசைவேகம் V_{r_2}-ஆகக் குறைந்து வெளிவாயிலின் வழியாக வெளிப்படுகிறது. இவ்வாறு தாரையானது V_{r_2} என்ற ஒப்புத் திசை வேகத்தில் β_2 என்ற கோணத்தில் வெளிப்படுகிறது. எனவே, தாரையானது V_2 என்ற தனித் திசைவேகத்தில் (absolute velocity) தளத்திலிருந்து வெளிப்படவேண்டும். இதன் மதிப்பானது V_{r_2}, v ஆகியவற்றின் திசையுளிக் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும். இந்தத் தனித் திசைவேகம் x-திசைக்கு α_2 என்ற கோணத்தில் சாய்ந்திருக்கும்.

இவ்வளைந்த தளத்தில் x-திசையில் ஏற்படும் F_x என்ற விசையின் அளவை உந்தச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி அறியலாம்.

F_x = ஒரு விஞடியில் தளத்தைத் தாக்கும் பொருண்மை

× x-திசையில் திசைவேக மாறுபாடு

இந்தத் தளமானது v திசைவேகத்தில் நகர்ந்து கொண்டிருக் கிறது. அதைத் தாக்கும் பொருண்மையின் அளவானது $\rho a V_{r_1}$ ஆகும். ஆகவே,

$$F_x = \rho a\ V_{r_1}(V_1 \cos\alpha_1 - V_2 \cos\alpha_2) \qquad (4{\cdot}40)$$

α-ன் மதிப்பு 90°க்கு அதிகமாக இருக்குமானுல், $\cos\alpha_2$-ன் மதிப்பு எதிராக இருக்கும். ஆகவே, F_x-ன் மதிப்பு அதிகரிக்கும். தொடர் வான வளைதளங்களில்,

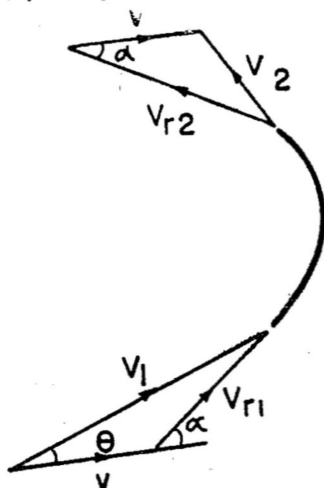
$$F_x = \rho a\ V_1(V_1 \cos\alpha_1 - V_2 \cos\alpha_2) \qquad (4{\cdot}40\text{-அ})$$

மாதிரிக் கணக்கு 4·19. படத்திலுள்ளபடி ஒரு தாரை யானது நகர்ந்து கொண்டிருக்கும் தொடர்வான வளைதளங்களைத் (series of curved plates) தாக்குகிறது. அந்த வளைதளத்தில் நுழைவு, வெளிக் கோணங்கள் α-ஆக இருக்குமானுல், ஒவ்வொரு தகட்டிலும் ஒரு அலகு கன அளவு நீரிஞல் ஏற்படும் விசையானது

$$\rho\ (V_1 \cos\theta - v + V_{r_2} \cos\alpha)$$

என நிரூபி.

நுழைவு, வெளிக் கோணங்கள் படத்தில் வரையப்பட்டுள்ளன. பாய்மத்தின் அடர்த்தி ρ-ஆக இருக்கட்டும்.

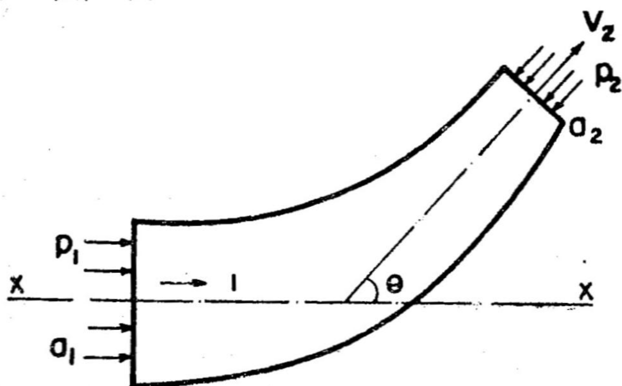


தளம் நகரும் திசையில் விசை $= \rho\ [V_1 \cos\theta + (V_{r_2} \cos\alpha - v)]$

$$= \rho\ (V_1 \cos\theta - v + V_{r_2} \cos\alpha)$$

4·21. வளைந்த குவியும் பாய்மக் கடத்தி (Curved tapering Conduit)

கிடைத் தளத்தில் அச்சு உள்ள ஒரு வளைந்த குவியும் பாய்மக்



படம் 4·24. குவியும் வளைவில் பாய்ச்சல்

கடத்தியை எடுத்துக் கொள்வோம். அதன் நுழை வெட்டு முகத்தில் பரப்பு, திசைவேகம், அழுத்தம் முறையே a_1, V_1, p_1-ஆக

இருக்கட்டும். அதேபோல் வெளி வெட்டுமுகத்தில் a_2, V_2, p_2, ஆக இருக்கட்டும். (படம் 4·24.) இந்த வளைந்த பாய்மக் கடத்தியின் அச்சு அதன் வெளிவாயிலில் θ கோண அளவு சாய்ந்திருக்கிறது.

இந்தப் பாய்மக் கடத்தி வளைவை ஆட்சிப் பருமனாக (control volume) எடுத்துக் கொள்வோம். இவ்வாட்சிப் பருமனில் ஒரு திசையில் தொழிற்படும் நிகரப் புற விசையானது, அந்தத் திசையிலுள்ள நிலை விசை, இயக்க விசை இவற்றின் இயற்கணித (algebraic) கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம். ஒரு வினாடிக்கு பாய்மக் கடத்தியின் வழி பாயும் பாய்மத்தின் அளவு Q ஆகவும், அமுக்கமற்ற அப் பாய்மத்தின் அடர்த்தி ρ-ஆகவும் இருக்குமானால் x-, y-திசைகளில் செயற்படும் விசைகளாவது,

$$p_1a_1-p_2a_2 \cos\theta+\rho Q(V_1-V_2 \cos\theta)=F_x \qquad (4{\cdot}41)$$

$$-p_2a_2 \sin\theta+pQ(0-V_2 \sin\theta)=F_y \qquad (4{\cdot}42)$$

Y-Y திசையில் விசையானது கீழ்நோக்கிச் செயற்படுகிறது. X-X திசையில் விசையானது பாய்மக் கடத்தி திரும்பும் திசைக்கு மாறாகத் தொழிற்படுகிறது. இவற்றின் தொகுபயனானது,

$$F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}$$

$$\tan\phi=\frac{F_y}{F_x}$$

ஆகவே, வளைவானது பாய்மக் கடத்தியிலிருந்து அற்றுக் கொண்டு F திசையில் போக முயற்சிக்கிறது. இந்த முயற்சியை வளைவு கடத்தியோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும் அமைப்பும், அதன் எடையும் எதிர்க்கிறது. இந்த எதிர்ப்பு விசையை அதிகமாக்குவதற்காகவே இவ்வகை வளைவு பெரிய கான்கிரீட் கட்டிகளால் மூடப்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 4·20(MKS). ஒரு 45° நீண்ட சதுர வளைவானது 1 மீ² பரப்பிலிருந்து படிப்படியாக 0·5 மீ² பரப்பிற்குக் குறைகிறது. 1 மீ² வெட்டுமுகத்தில் அதன்வழி பாயும் காற்றின் திசைவேகம் 10 மீ/வி ஆகவும், அழுத்தம் 0·3 கிகிஎ/செமீ² ஆகவும் இருக்குமானால் அந்த வளைவை அதன் இருப்பிடத்தில் இருக்கச் செய்யத் தேவையான விசையின் அளவையும், திசையையும் கணக்கிடு. காற்றில் அலகு பருமனெடை 1·16 கிகிஎ/மீ³. $\alpha=\beta=1$.

$a_1=1$ மீ² $\qquad V_1=10$ மீ/வி

$a_2=0{\cdot}5$ மீ² $\qquad p_1=0{\cdot}3$ கிகிஎ/செமீ²

பெர்னூலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினல்,

$$\frac{p_1}{w}+\frac{V_1^2}{2g}=\frac{p_2}{w}+\frac{V_2^2}{2g}$$

$$\frac{0{\cdot}3\times100^2}{1{\cdot}16}+\frac{10^2}{2\times9{\cdot}81}=\frac{p_2\times100^2}{1{\cdot}16}+\frac{20^2}{2\times9{\cdot}81}$$

$$\therefore\ p_2=0{\cdot}291 \text{ கிகிஎ/செமீ}^2$$

உந்தச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி,

$$F_x=(p_1a_1-p_2a_2\ \cos 45^\circ)+\frac{w}{g}(V_1-V_2\cos 45^\circ)$$

$$=(0{\cdot}3\times100^2-0{\cdot}291\times50^2\times0{\cdot}707)+\frac{10\times1{\cdot}16}{9{\cdot}81}(10-20\times0{\cdot}707)$$

$$=2841 \text{ கிகிஎ.}$$

$$F_y=-(p_2a_2\sin 45^\circ+\frac{WV_2}{g}\sin 45^\circ)$$

$$=-\left(0{\cdot}291\times50^2\times0{\cdot}707+\frac{10\times1{\cdot}16\times20\times0{\cdot}707}{9{\cdot}81}\right)$$

$$=-531 \text{ கிகிஎ.}$$

தொகுபயன் விசை $=\sqrt{2481^2+531^2}=2537$ கிகிஎ

இவ்விசை 4-வது கட்டத்தில் x-அச்சிற்கு θ கோணத்தில் சாய்ந்திருக்கும்.

$$\theta=\tan^{-1}\frac{531}{2841}=12{\cdot}6^\circ.$$

மாதிரிக் கணக்கு 4·20 (SI). ஒரு 45° நீண்ட சதுர வளைவானது 1 மீ பரப்பிலிருந்து படிப்படியாக 0·5 மீ² பரப்பிற்குக் குறைகிறது. 1 மீ² வெட்டுமுகத்தில் அதன் வழி பாயும் காற்றின் திசைவேகம் 10 மீ/வி ஆகவும், அழுத்தம் 29 கிநி/மீ² ஆகவும் இருக்குமானல், அந்த வளைவை அதன் இருப்பிடத்தில் இருக்கச் செய்ய தேவையான விசையை அளவிலும், திசையிலும் கணக்கிடு. காற்றின் அலகு பருமனெடை 11·38 நி/மீ³.

$a_1=1$ மீ² $\qquad V_1=10$ மீ/வி

$a_2=0{\cdot}5$ மீ² $\qquad p_1=29$ கிநி/மீ²

பெர்னூலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினல்,

$$\frac{29000}{11{\cdot}38}+\frac{10^2}{2\times9{\cdot}81}=\frac{p_2}{11{\cdot}38}+\frac{20^2}{2\times9{\cdot}81}$$

$$p_2=28{\cdot}6 \text{ கிநி/மீ}^2$$

உந்தச் சமன்பாட்டை உபயோகித்தால்,

$$F_x = 29 - 28{\cdot}6 \times 0{\cdot}707 \times 0{\cdot}5^2 + \frac{11{\cdot}38 \times 10}{1000}(10 - 20 \times 0{\cdot}707)$$

$= 23{\cdot}89$ கிநி

$$F_y = -\left(28{\cdot}6 \times 0{\cdot}5^2 \times 0{\cdot}707 + \frac{11{\cdot}38 \times 10 \times 20 \times 0{\cdot}707}{1000}\right)$$

$= -5{\cdot}2$ கிநி

தொகுபயன் விசை $= \sqrt{23{\cdot}89^2 + 5{\cdot}2^2} = 24{\cdot}5$ கிநி

இந்த விசை 4-வது கட்டத்தில் x-அச்சிற்கு θ கோணம் சாய்ந்திருக்கிறது.

$$\theta = \tan^{-1}\frac{5{\cdot}2}{23{\cdot}89} = 12{\cdot}1^\circ$$

எனவே, இந்த வளைவில் 24·5 கிநி விசை 12·1° கோணத்தில் தொகுபயனுக்கு எதிர் திசையில் தொழிற்பட வேண்டும்.

மாதிரிக் கணக்கு 4·21. 50 மிமீ விட்டமுள்ள குழாயின் முடிவிலுள்ள முனையின் விட்டம் 20 மிமீ ஆகும். அந்தக் குழாயில் பாயுவீதம் 10 லி/வி-ஆக இருக்கும்போது, அந்த முனையில் செயற்படும் விசை என்ன? திசைவேகப் பகிர்வு சீராக இருப்பதாகக் கொள்ளவும்.

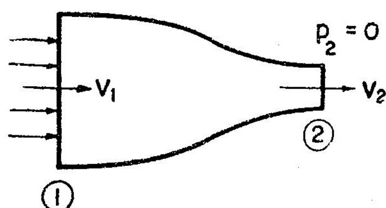
$Q = 10$ லி/வி $\qquad d_2 = 20$ மிமீ

$d_1 = 50$ மிமீ $\qquad \dfrac{p_2}{w} = 0$

$$V_1 = \frac{10 \times 1000 \times 4}{\pi \times 25} = 510 \text{ செமீ/வி} = 5{\cdot}10 \text{ மீ/வி}$$

$$V_2 = 510 \times \left(\frac{5}{2}\right)^2 = 3190 \text{ செமீ/வி} = 31{\cdot}9 \text{ மீ/வி}$$

MKS முறையில்



பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினுல்,

$$\frac{p_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{p_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g}$$

$w = 1000$ கிகிஎ/மீ^{3}

$$\frac{p_1}{w}=\frac{31{\cdot}9^2-5{\cdot}1^2}{2\times 9{\cdot}81}=50{\cdot}6 \text{ மீ நீர் உயரம்}$$

$$p_1=5{\cdot}06 \text{ கிகிஎ/செமீ}^2$$

$$F_x=p_1a_1+\frac{wQ}{g}(V_1-V_2)$$

$$=\frac{5{\cdot}06\times\pi\times 5^2}{4}+\frac{10}{9{\cdot}81}(5{\cdot}1-31{\cdot}9)$$

$$=99{\cdot}5-27{\cdot}3=72{\cdot}2 \text{ கிகிஎ.}$$

SI முறையில்

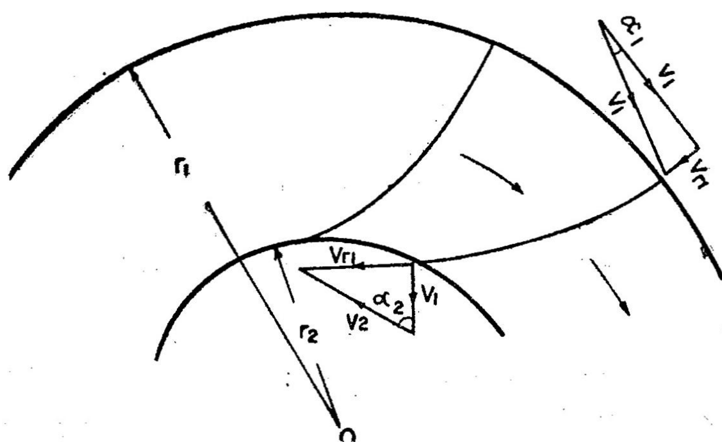
$w=9{\cdot}81$ கிநி/மீ^{3}, $\rho=1$ கிகி/லி, $p_1=497$ கிநி/மீ^{2}

$$F_x=\frac{4{\cdot}97\times 10^3\times\pi\times 0{\cdot}05^2}{4}-10\ (5{\cdot}1-31{\cdot}9)$$

$$=978-268=710 \text{ நி.}$$

4·22. உந்தத் திருப்புதிறன் சமன்பாடு (Moment of Momentum Equation)

உந்தத் திருப்புதிறன் சமன்பாடானது பம்புகள் (pumps), நீரியற் டர்பைன்கள் (hydraulic turbines) முதலிய நீரியற் எந்திரங்களின் வழியாகப் பாயும் பாய்மத்தால் ஏற்படும் இரட்டைத் திருப்புதிறனைக் (torque) கணிக்கப் பயன்படுகிறது.



படம் 4·25. சுழலும் பாதை வழியாகப் பாய்ச்சல்

படம் 4·25-ல் இரண்டு வளைந்த தகடுகள் ஒரு சுழலும் சக்கரத்தின் விளிம்பில் பொருத்தப்பட்டிருக்கும் அமைப்பு காட்டப்

பட்டுள்ளது. இதில் பாய்மமானது வெளியிலிருந்து அந்தத் தகடு களின் வழியாக உள்நோக்கிப் பாய்வதாக எடுத்துக் கொள்வோம். அந்தச் சக்கரத்தின் ஆரமானது வெளி, உட்புறங்களில் முறையே r_1, r_2-ஆக இருக்கட்டும். ஒரு சிறிய dM பொருண்மையுள்ள தனிம மானது (element) V_1 என்ற தனித் திசைவேகத்தில் (absolute velocity) உட்புகுந்து பின்னர் சக்கரத்திலிருந்து வெளியே V_2 என்ற தனித் திசைவேகத்தில் வரட்டும். இந்தச் சக்கரத்தில் பாய்மம் பாய்வதால் உண்டாகும் திசைவேகம் சீராக இருப்பதாகவும், இழைக் கோடுகள் தகடுகளுக்கு (vanes) அமைப்பாக (congruent) அமைந்திருப்பதாகவும் கொள்வோம்.

dM என்ற பாய்மப் பொருண்மையின் உந்தம்

நுழைவாயிலில் தொடுகோட்டுத் திசையில் $=dM \times V_1 \cos \alpha_1$

ஆகவே, உந்தத் திருப்புதிறன் நுழைவாயிலில் $=dM \times V_1 \cos \alpha_1 \times r_1$

அதேபோல் உந்தத் திருப்புதிறன் வெளிவாயிலில்
$=dM \times V_2 \cos \alpha_2 \times r_2$

ஆகவே, நுழைவாயில், வெளிவாயில் இவற்றிடையேயுள்ள உந்தத் திருப்புதிறன்களின் வேறுபாடு அந்தச் சக்கரத்தில் O என்ற அச்சில் உண்டாகும் இரட்டைத் திருப்புதிறனுக்குச் சம மாகும். இந்தத் திருப்புதிறனில் பாய்மத்தின் எடை எவ்வித மாற்றத்தையும் ஏற்படுத்துவதில்லை.

dM என்ற தனிமத்தில் ஏற்படும் இரட்டைத் திருப்புதிறன் $\Big\} = dM(V_1 r_1 \cos \alpha_1 - V_2 r_2 \cos \alpha_2)$

இந்தச் சக்கரத்தின் வழியாகப் பாயும் பாய்மத்தின் வீதம் Q-ஆகவும், அதன் அடர்த்தி ρ-ஆகவும் இருக்குமானால், இரட்டைத் திருப்புதிறனின் மொத்த அளவானது,

$$T = \rho Q\,(V_1 r_1 \cos \alpha_1 - V_2 r_2 \cos \alpha_2) \qquad (4{\cdot}43)$$

இந்தச் சமன்பாட்டிற்கு உந்தத் திருப்புதிறன் சமன்பாடு எனப் பெயர். இப்போது திறனுவது (power),

$$P = \text{இரட்டைத் திருப்புதிறன்} \times \text{கோணத் திசைவேகம்}$$
$$= \rho Q\,(V_1 r_1 \cos \alpha_1 - V_2 r_2 \cos \alpha_2)$$

இப்போது

$$V_1 \cos \alpha_1 = V_{\omega_1} \quad ; \quad V_2 \cos \alpha_2 = V_{\omega_2}$$
$$r_1 \omega = v_1 \quad ; \quad r_2 \omega = v_2$$

ஆகவே,

$$P = \rho Q\,(V_{\omega_1} v_1 - V_{\omega_2} v_2) \qquad (4{\cdot}44)$$

இதற்கு ஆய்லர் டர்பைன் சமன்பாடு (Euler's equation for turbines)

என்றும் பெயருண்டு. மேலே உள்ள சமன்பாட்டை வருவித்தலில் இழைக் கோடுகள் சக்கரத்திலுள்ள தகடுகளுக்கு (vanes) இணையாக இருப்பதாகவும், நுழைவு, வெளித் திசைவேகங்கள் தகடின் நுழைவு, வெளி வாயில்களில் முறையே தொடுகோடுகளின் பாதைகளில் இருப்பதாகவும் தற்கோள்கள் கொள்ளப்பட்டுள்ளன. $\alpha_2 = 90°$-ஆக இருக்கும் போது சமன்பாடு 4·44-ல் பிறைகளுக்குள் (parentheses) இருக்கும் இரண்டாவது உறுப்பு மறைந்து விடுகிறது. ஆகவே,

$$P = \rho Q \, V_{\omega_1} v_1$$

ஆனல் பாய்மமானது சக்கரம் சுழலும் திசைக்கு எதிரான திசையில் வெளிப்பட்டால்,

$$P = \rho Q \left(V_{\omega_1} v_1 + V_{\omega_2} v_2 \right) \qquad (4{\cdot}45)$$

மாதிரிக் கணக்கு 4·22. ஒரு சக்கரத்தின் விளிம்பில் அமைக்கப்பட்டுள்ள தொடர்வான தகடுகளை நீர்த் தாரை 30 மீ/வி திசைவேகத்தில் விளிம்பின் அதிர்வின்றித் தாக்குகிறது. விளிம்பின் திசைவேகம் 15 மீ/வி ஆகும். தாரையின் தனித் திசைவேகம் (absolute velocity) அந்தத் தகட்டின் திசைவேகத்திற்கு 30° கோணத்திலிருக்கிறது. வெளிவாயிலில் ஒப்புத் திசைவேகம் நுழைவாயிலிலுள்ளதில் 95% மதிப்புள்ளது. வெளிவாயிலில் தனித்திசைவேகம் தகடுகளின் திசைவேகத்திற்கு நேர்குத்தாக இருக்கிறது. தாரையானது சீரான தகட்டில் நுழைவதாகக் கொண்டு, தகட்டின் நுழை, வெளிக் கோணங்கள், நீரியற் திறம் (hydraulic efficiency) முதலியவற்றைக் கணக்கிடு.

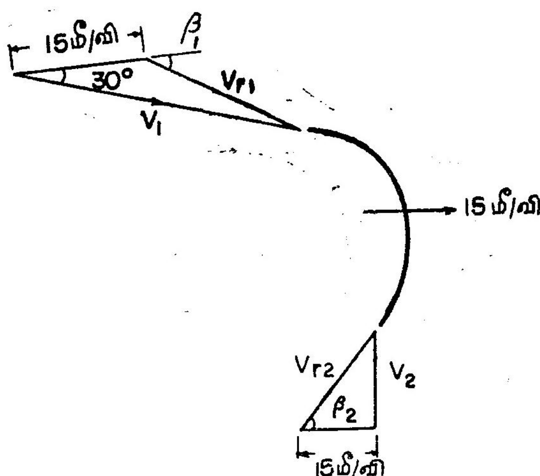
திசைவேக முக்கோணங்களும், தகட்டின் அமைப்பும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன.

$$V_{r_1}^2 = 30^2 + 15^2 - 2 \times 30 \times 15 \cos 30°$$

$$V_{r_1} = 18{\cdot}05 \text{ மீ/வி}$$

$$\sin \beta_1 = \frac{V_1 \sin 30°}{V_{r_1}}$$

$$= \frac{30 \sin 30°}{18{\cdot}05} = \frac{15}{18{\cdot}05}$$



$$\beta_1 = 56{\cdot}5^\circ$$

$$V_{r_2} = 0{\cdot}95\ V_{r_1}$$

$$= 0{\cdot}95 \times 18{\cdot}05 = 17{\cdot}2 \text{ மீ/வி}$$

$$\cos \beta_2 = \frac{15}{17{\cdot}2}$$

$$\beta_2 = 29^\circ$$

$$\text{நீரியற் திறம்} = \frac{2V_{w_1}\ v_1}{V_1^{\,2}} = \frac{2 \times 30 \cos 30^\circ \times 15}{30 \times 30} = 0{\cdot}866.$$

4·23. தாரையின் கணத்தாக்கு (Impulse of a Jet)

நன்ருகக் காற்றூதப்பட்ட பலூனனது திடீரென்று திறக்கப் பட்டு அதனிச்சைப்படி விடப்பட்டால், அந்தப் பலூன் அதிலிருந்து வெளிப்படும் தாரையின் திசைக்கு எதிர்த் திசையில் நகருவதைக் காணலாம். வெளிப்படும் பாய்மத்தால் ஏற்படும் விசையானது, அத்தாரை வெளிவரும் திசைக்கு எதிராகத் தொழிற்படுவதால், பலூன் எதிர்த் திசையில் நகருகிறது. இந்த விசையானது பலூனி லிருந்து வெளிவரும் பாய்மத்தின் உந்த மாறுபாட்டு வீதத்திற்குச் சமமாகும். அப்பலூனிலிருந்து வெளிப்படும் பாய்மத்தின் வீதம் நேரமாக ஆகக் குறைய ஆரம்பிக்குமாதலால், அந்தப் பலூனில் தொழிற்படும் விசையும் குறைந்து கடைசியில் புவியீர்ப்பு விசை யால் பலூன் பூமியை அடைகிறது.

இந்தத் தத்துவமானது தாரைகளின் உதவியால் ஆகாயக் கப்பல்கள், கப்பல்கள் முதலியவற்றை இயக்கப் பயன்படுகிறது. ஒரு ஜெட் விமானமானது (jet plane) அதன் பின் பாகத்தின் வழியாக அதிவேகத்தில் வெளிப்படும் தாரையால் தள்ளுவிசையை (thrust) அடைகிறது. வளிமண்டலத்தில் அதிக உயரத்தில் வாயுவின் அடர்த்தி மிகக் குறைவு. ஆகவே, விமானமானது மிக உயரத்தில் பறக்கும்போது அதைத் தள்ளுவதற்குத் தேவையான விசையும் குறைவாகவே தேவைப்படும். எனவே, ஜெட் விமானங்கள் அதி உயரங்களில் மிகத் திறனுக வேலே செய்கிறது. தாழ்வாகப் பறக்கும்போது அவற்றின் திறன் மிகக் குறைவாக இருக்கும்.

கப்பல்களில் நீரானது பக்கவாட்டில் அல்லது முன்னிருந்து உறிஞ்சப்பட்டு, பம்புகளால் அழுத்தப்பட்டு, கப்பலின் பின்னுள்ள துளேகளின் வழியாக அதிவேகத்தில் வெளிச் செலுத்தப்படுகிறது. பக்கவாட்டில் நீர் உறிஞ்சப்படும்போது கப்பல் செல்லும் திசையில் நீரின் நுழைத் திசைவேகம் (entrance velocity) சுழியாகும். ஆனல் முன்னிருந்து நீர் உறிஞ்சப்படும்போது, நீரானது கப்பல் செல்லும் வேகத்தில் நுழைகிறது; ஆகவே, அது இயக்க ஆற்றல் உள்ளதாக இருக்கிறது. நீரை முன்னிருந்து உறிஞ்சுவதால், கொள்கை ரீதியான தள்ளுதிறன் அதிகரிக்கிறது. இவை பற்றிப் பின்வரும் பகுதிகளில் விளக்கப்பட்டுள்ளன.

நீரானது முன்னிருந்து உறிஞ்சப்படும்போது: தாரையின் வெட்டுப் பரப்பு a-ஆகவும், அடர்த்தி ρ-ஆகவும் இருக்குமானல், தள்ளுவிசையானது,

$F=$ ஒரு விஞடிக்கு வெளிவரும் பொருண்மையின் அளவு $\times$ தாரையின் திசைவேக மாறுபாடு

$$=\rho a\ V_r\ (V-0)$$
$$=\rho a\ V_r\ (V_r-v)$$

தாரையால் ஒரு விஞடியில் செய்யப்படும் வேலே $=\rho a\ V_r\ (V_r-v)v$

(4·46)

வெளிவரும் ஒரு அலகு பொருண்மையுள்ள பாய்மத்தின் இயக்க ஆற்றலானது $\frac{V_r^2}{2}$ ஆகும். ஆனல் இந்தப் பொருண்மை கப்பலில் நுழையும்போது $\frac{v^2}{2}$ இயக்க ஆற்றல் உள்ளதாக இருக்கிறது.

ஆகவே, ஒரு அலகு பொருண்மைக்கு கப்பலிலுள்ள பொறி அளித்துள்ள ஆற்றலாவது $\frac{V_r^2—v^2}{2}$ ஆகும். எனவே, தள்ளுதிறமாவது (propulsion efficiency),

$$\eta=\frac{2(V_r—v)v}{V_r^2—v^2}=\frac{2v}{V_r+v} \tag{4·47}$$

$V_r=v$-ஆக இருக்கும்போது தள்ளுதிறத்தின் மதிப்பு ஒன்ருகும். ஆனல் $V_r=v$-ஆக இருக்கும்போது தள்ளுவிசை சுழியாகும். ஆகவே, V_r-க்குச் சமமான திசைவேகத்தை அடைவது நடைமுறையில் சாத்தியமல்ல. தள்ளுவிசை குறைவாக இருக்கும்போது தள்ளுதிறம் அதிகமாகிறது. எனவே, ஜெட் விமானங்கள், தள்ளுவிசையின் மதிப்புக் குறைவாக இருப்பதற்காக மிக உயரத்தில் பறக்க வேண்டியதிருக்கிறது.

பாய்மமானது பக்கவாட்டிலிருந்து எடுக்கப்பட்டால்: தள்ளுவிசையும், தாரையால் செய்யப்படும் வேலேயும் முன்னர் வருவிக்கப்பட்ட மதிப்புகளே உடையன. பக்கவாட்டிலிருந்து நீரானது எடுக்கப்பட்டால், அதன் நுழைவுத் திசைவேகம் கப்பல் செல்லும் திசையில் சுழியாதலால், நுழையும் நீரில் எவ்வித ஆற்றலும் இருக்காது. ஆகவே, தேவையான முழு ஆற்றலேயும் கப்பலிலுள்ள பொறியே கொடுக்க வேண்டியதிருக்கிறது. ஆகவே,பொறியினுல் ஒரு அலகு பொருண்மை நீருக்கு கொடுக்கப்படும் ஆற்றலானது $\frac{V_r^2}{2}$ ஆகும். எனவே, தள்ளுதிறமானது,

$$\eta=\frac{2\,(V_r—v)v}{V_r^2}$$

பெரும திறத்திற்கு, $\frac{d\eta}{dv}=0$

$$\frac{d\eta}{dv}=\frac{2V_r\ (V—v)\ V}{V_r^4}=0$$

$$\therefore\quad V=v$$

ஆகவே, தள்ளுதிறம் 50% மேல் இருக்கமுடியாது.

ஆகாயவிமானங்கள் மிக உயரத்தில் பறக்கும்போது தள்ளுவிசை குறைவாகவே தேவைப்படும். எனவே, உயரம் அதிகமாக அதிகமாக தள்ளுதிறமும் அதிகரிக்கிறது. அதனுல்தான் ஜெட் விமானங்களே அதிக உயரத்தில் பறக்கவிடுகிருர்கள். ஆனுல் கடலில் செல்லும் கப்பல்களே ஜெட் முறையைக் காட்டிலும்

சாதாரண முன்தள்ளு சுழலி (propeller) அமைப்பு அதிகத் திறத்தைத் தருவதால், தாரையின் உதவியால் தள்ளும் முறை கையாளப்படுவல்லை.

மாதிரிக் கணக்கு 4·23. ஒரு ஜெட் படகில் அதன் பின்புற முள்ள 0·02 மீ^{2} துளையின் வழியாக நீர் வெளிச் செலுத்தப்படு கிறது. அந்தப் படகின் தடைவிசை $40V^2$ நி ஆகும். இதில் V என்பது திசைவேகத்தை மீ/வி-யில் குறிக்கும். அந்தப் படகின் வேகம் 10 மீ/வி-யானுல், கீழ்க்கண்டவற்றை நிர்ணயி : (1) படகின் வேகத்திற்கு வெளிவரும் தாரையின் ஒப்பு வேகம்; (2) தாரைக்குக் கொடுக்கப்படும் ஆற்றல் வீதம் ; (3) தள்ளுதிறன் ; (4) மோட்டாருக்குத் தேவையான திறன். பம்பு செட்டின் (pump set) திறம் 70% எனக் கொள்க.

நீரின் அடர்த்தி = 1030 கிகி/மீ^{3}

$a = 0{\cdot}02$ மீ^{2} $\qquad \eta_p = 70\%$

$V = 10$ மீ/வி $\qquad V_r = ?$

$F = 40V^2$ $\qquad E = ?$

$P = ?$

இப்போது $\qquad F = 40 \times 10^2 = 4000$ நி

நிலையான தன்மையில் தள்ளுவிசையானது இழு விசைக்குச் சமமாக இருக்கவேண்டும். எனவே,

$$4000 = \rho a V_r (V_r - v)$$

$$4000 = 1030 \times 0{\cdot}02 (V_r^2 - 10V_r)$$

$$\therefore V_r = 19{\cdot}8 \text{ மீ/வி}$$

வெளிவரும் பாய்மப் பொருண்மை வீதம் $= 1030 \times 0{\cdot}02 \times 19{\cdot}8$

$= 408{\cdot}3$ கிகி

பம்புக்குத் தேவையான ஆற்றல் $= 408{\cdot}3 \dfrac{(19{\cdot}8^2 - 10^2)}{2}$

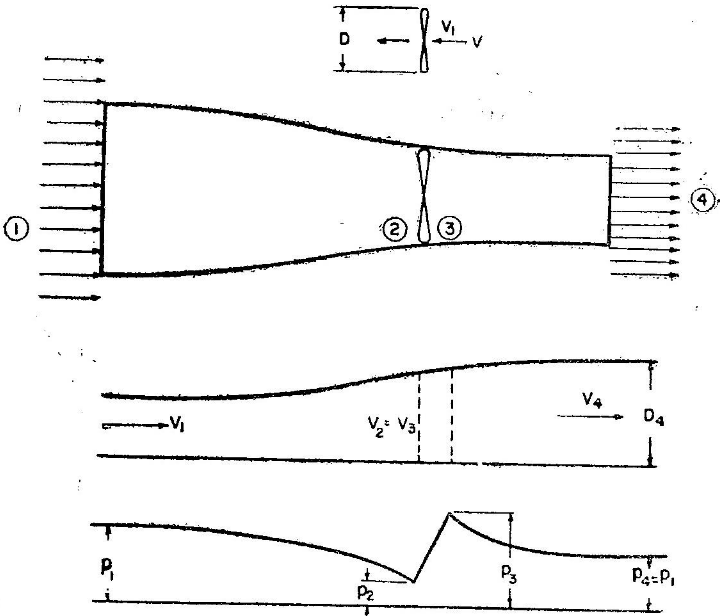
$= 59600$ நிமீ $= 59{\cdot}6$ கிநிமீ

தள்ளுதிறம் $= \dfrac{2v}{V_r + v} = \dfrac{2 \times 10}{19{\cdot}8 + 10} = 67{\cdot}2\%$

மோட்டாரின் திறன் $= \dfrac{59{\cdot}2}{0{\cdot}7} = 85{\cdot}3$ கிவா

4·24. தள்ளுசுழலியின் தள்ளு விசை (Thrust Due to Propeller)

தள்ளுசுழலி சுழல்வதால் அதைக் கடந்து செல்லும் பாய்மத்தி லேற்படும் உந்த அதிகரிப்பு, தள்ளுசுழலியின் அச்சின் திசையில் பாய்மம் பாயும் திசைக்கு எதிராக ஒரு தள்ளுவிசையை உண்டாக்கு கிறது. ஜெட் எந்திரங்களில் சிறிதளவு பொருண்மையுள்ள வாயு வானது அதிகத் திசைவேகத்தில் வெளிச் செல்கிறது. ஆனால் தள்ளுசுழலியில் (propeller) அதிக அளவு பாய்மமானது குறை திசைவேகத்தில் கடந்து செல்வதால் தள்ளு விசை ஏற்படுகிறது. தடையற்ற, அமுக்கமற்ற பாய்மமானது, தள்ளு சுழலியைக் கடந்து செல்வதால் ஏற்படும் தள்ளு விசையை இங்கு பகுப்பாய்ந்து வருவிப்போம். இந்த அமைப்பில் உந்த மாறுபாட்டை அடையும் பாய்மத்திற்கு நழுவிச் செல்லும் ஓடம் (slip stream) எனப் பெயர்.



படம் 4·26. தள்ளுசுழலியில் தள்ளுவிசை

D விட்டமுள்ள தள்ளுசுழலி V திசைவேகத்தில் செல்வதாக எடுத்துக் கொள்வோம். ஒப்பு இயக்க அடிப்படையில் இச் சுழலியை நிலைக்குக் கொணர்ந்து, பாய்மத்தை நகரச் செய்வதால், இது பற்றி பகுப்பாய்வது எளிதாகிறது. படம் 4·26-ல் தள்ளுசுழலி

நிலைக்குக் கொண்டுவரப்பட்டுள்ளது. எவ்விதத்திலும் உலைவற்ற (disturbance) பாய்மம் V_1 திசைவேகத்தில், வளிமண்டல அழுத்த மான p_1-ல் தள்ளுசுழலியை அடைகிறது. பாய்மம் சுழலிக்கு முன் V_2 திசைவேகத்தையும் p_2 அழுத்தத்தையும் அடைகிறது. சுழலிக்குப் பின் திசைவேகத்தில் மாற்றமில்லை. ஆனால் அழுத்த மானது சுழலி ஊட்டும் ஆற்றலால் p_3-ஆக அதிகரிக்கிறது. பாய்மத்திற்குச் சுழலி எவ்வித சுழற்சி ஆற்றலையும் (rotational energy) கொடுக்கவில்லை எனக் கொண்டால், $V_2 = V_3$. திசைவேக மானது V_3-யிலிருந்து நழுவிச் செல்லும் ஓடத்தின் முடிவில் V_4-ஆக அதிகரிக்கிறது. வெட்டுமுகம் 4-ல் அழுத்தம் வளிமண்டல அழுத்த மாக இருக்கிறது.

நழுவிச் செல்லும் ஓடத்தின் (slip stream) எல்லைகளையும், வெட்டுமுகங்கள் 1, 2-யையும் எல்லைகளாகக் கொண்டுள்ள ஆட்சிப் பருமனை எடுத்துக் கொண்டால், நிலையான ஓட்டத்தில் ஆட்சிப் பருமனில் தொழிற்படும் நிகரப் புறவிசையான F,

$$F = \rho Q \ (V_4 - V_1) \tag{4 49}$$

இதில் Q என்பது நழுவிச் செல்லும் ஓடத்திலுள்ள பாயுவீதத்தைக் குறிக்கும். பாய்மமானது தடையற்றது எனத் தற்கோள் கொள்ளப்பட்டுள்ளதால், எவ்வித சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவும் ஆட்சிப் பருமனில் தொழிற்படாது.

இந்த விசை F ஆனது, அந்தத் தள்ளுசுழலியில் தொழிற்படும் நிகர விசைக்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும்.

$$\frac{\pi D^2}{4} \ (p_3 - p_2) \ = \rho \frac{\pi D^2}{4} V_2 (V_4 - V_1)$$

(அ-து) $$(p_3 - p_2) = \rho V_2 \ (V_4 - V_1) \tag{4·50}$$

பெர்னூலிச் சமன்பாட்டை வெட்டுமுகங்கள் 1, 2 பின்னர் 3, 4 இவற்றிடையே பயன்படுத்தினல்,

$$p_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} = p_2 + \rho \frac{V_2^2}{2}$$

$$p_3 + \rho \frac{V_3^2}{2} = p_4 + \rho \frac{V_4^2}{2}$$

அச்சானது கிடையாக இருக்கிறது. இப்போது $p_1 = p_4$; $V_2 = V_3$. ஆதலால்,

$$p_3 - p_2 = \tfrac{1}{2} \rho \ (V_4^2 - V_1^2) \tag{4·51}$$

சமன்பாடுகள் 4·49, 4·50-லிருந்து,

$$V_2 = \frac{V_1 + V_4}{2}$$

எனவே, சுழலியின் முன்னுள்ள திசைவேகமானது V_1, V_4 திசை வேகங்களின் சராசரிக்குச் சமமாகும்.

இப்போது பாய்மம் நிலையாக இருப்பதாகவும், தள்ளுசுழலி V_1 திசைவேகத்தில் முன்னேறுவதாகவும் வைத்துக் கொள்வோம். இப்போது தள்ளுசுழலி(propeller) செய்யும் பயனுள்ள வினையானது (useful work) விசை F, V_1 ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகைக்குச் சமம். ஆகவே,

$$\text{பயனுள்ள வினை} = F \times V_1 = \rho Q\,(V_4 - V_1)V_1$$

நழுவிச் செல்லும் ஓடத்தில் ஏற்படும் ஆற்றல் இழப்பானது $\frac{1}{2}\rho Q\,(V_4 - V_1)^2$ ஆகும். எனவே, இடப்படும் மொத்தத் திறனானது

$$= \rho Q(V_4 - V_1)V_1 + \tfrac{1}{2}\rho Q(V_4 - V_1)^2$$

ஆகவே, கொள்கை திறமாவது,

$$\eta_{\text{கொள்கை}} = \frac{\rho Q(V_4 - V_1)V_1}{\rho Q(V_4 - V_1)V_1 + \frac{1}{2}\rho Q(V_4 - V_1)^2}$$

$$= \frac{V_1}{V_1 + \dfrac{V_4 - V_1}{2}}$$

$$\eta_{\text{கொள்கை}} = \frac{V_1}{V_2} \qquad (4{\cdot}52)$$

இதற்கு ஃப்ரூடு திறம் (Froude efficiency) என்றும் பெயர். திறமானது 100 சதமாக இருக்க $V_4 = V_1$-ஆக இருக்க வேண்டும். ஆனால் இது சாத்தியமல்ல. பொதுவாக, திறமானது 85 முதல் 90 சதவீதம் வரை இவ்வகை அமைப்புகளில் இருக்கிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 4·24. 0·3 மீ விட்டமுள்ள ஒரு காற்றூதி (blower) வளிமண்டலத்திலிருந்து காற்றை இழுத்து 30 மீ^{3}/வி பாயுவீதத்தில் கடத்துகிறது. நீளவாட்டில் (longitudinal) காற்றூதியில் உண்டாகும் விசை என்ன? $w = 1{\cdot}13$ கிகி/மீ^{3}. மோட்டாரின் மொத்தத் திறம் 70%-ஆக இருக்குமானால் தேவையான பரிதிறன் என்ன?

காற்றின் தொடக்கத் திசைவேகம் $V_1 = 0$

காற்றின் இறுதித் திசைவேகம் $V_4 = 30$ மீ/வி

$D = 0{\cdot}3$ மீ

$w = 1{\cdot}13$ கிகி/மீ³

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \times V_4 = \frac{\pi \times 0{\cdot}3^2}{4} \times 30 = 2{\cdot}12 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

தள்ளுவிசை $= \rho Q\,(V_4 - V_1)$

$$= \frac{1{\cdot}13}{9{\cdot}81} \times 2{\cdot}12\,(30-0) = 7{\cdot}3 \text{ கிகி}$$

ஒரு அலகு பருமன் காற்றில் உள்ள இயக்க ஆற்றல் $\Big\} = \rho\,\dfrac{V_4^2}{2} = \dfrac{1{\cdot}13}{9{\cdot}81} \times \dfrac{30^2}{2}$

$$= 51{\cdot}6 \text{ கிகி-மீ/மீ}^3$$

மோட்டாருக்கு இடுதிறன் $= \dfrac{2{\cdot}1 \times 51{\cdot}6}{75 \times 0{\cdot}7}$

$$= 2{\cdot}09 \text{ பரிதிறன்.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 4·25. ஒரு பயிற்சி ஆகாயவிமானம் (trainee aircraft) 40 கிமீ/மணி வேகத்தில் வீசும் காற்றிற்கு எதிராக 200 கிமீ/மணி தனித் திசைவேகத்தில் செல்கிறது. இதற்குத் தேவையான தள்ளுவிசை (thrust) 9000 நி ஆகும். காற்றின் அடர்த்தி 1·15 கிகி/மீ³ என்றும், கொள்கை ரீதியான திறம் 90% என்றும் எடுத்துக் கொண்டு, (1) சுழலியின் விட்டம், (2) சுழலியின் இரு பக்கங்களிலுமுள்ள அழுத்த வேறுபாடு, (3) தேவையான திறன் இவற்றைக் கணக்கிடு.

நழுவிச் செல்லும் ஓடத்தின் அணுகு திசைவேகம் V_1

$$= 200 + 40 = 240 \text{ கிமீ/மணி} = 66{\cdot}6 \text{ மீ/வி}$$

திறம் $\eta_{\text{கொள்கை}} = \dfrac{V_1}{V_2}$

அதாவது $0{\cdot}9 = \dfrac{66{\cdot}6}{V_2}$

$$\therefore V_2 = 74 \text{ மீ/வி}$$

ஆனால் $V_4 = 2V_2 - V_1$

$$= 2 \times 74 - 66{\cdot}6$$

$$= 81{\cdot}4 \text{ மீ/வி}$$

சமன்பாடு 4·49-ஐப் பயன்படுத்தி,

$$9000 = 1{\cdot}15 \times Q(81{\cdot}4 - 66{\cdot}6)$$

$$Q = \frac{9000}{1{\cdot}15 \times 14{\cdot}8} = 528 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

சுழலியின் விட்டம் d-ஆக இருக்குமானால்,

$$\frac{\pi d^2}{4} \times 74 = 528$$

$$d = \sqrt{\frac{528 \times 4}{\pi \times 74}} = 3{\cdot}02 \text{ மீ}$$

அழுத்த வேறுபாடு Δp-ஆக இருக்குமானால்,

$$\Delta p \times \frac{\pi d^2}{4} = F$$

$$\Delta p = \frac{9000 \times 4}{\pi \times 3{\cdot}02^2}$$

$$= 1260 \text{ நி}/\text{மீ}^2$$

$$\text{தேவையான திறன்} = \frac{F \times V_1}{\eta}$$

$$= \frac{9000 \times 66{\cdot}6}{0{\cdot}9}$$

$$= 66{\cdot}6 \times 10^4 \text{ வா}$$

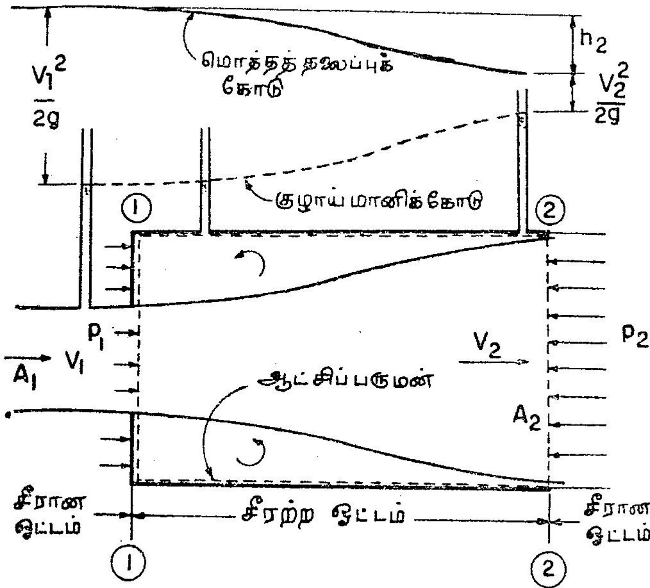
$$= 666 \text{ கிவா.}$$

4·25. திடீர் விரிசலில் ஏற்படும் இழப்பு (Loss Due To Sudden Enlargement)

படம் 4·27-ல் ஒரு குழாயில் திடீர் விரிசல் ஏற்படுவதால் உண்டாகும் பிரிதல்(separation) எவ்வாறு பாய்ச்சலைப் பாதிக்கிறது என்பது காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்தப் பிரிதலால் எண்ணற்ற சுழல்கள் ஏற்பட்டு கொந்தளிப்புத் தன்மை எங்கும் பரவுகிறது. இக் கொந்தளிப்பே ஆற்றலிழப்பிற்குக் காரணமாகும்.

வெட்டுமுகங்கள் 11, 22 இடையில் திசைவேகமானது சீரற்ற தாக இருக்கிறது. இந்தப் பகுதியில் உண்டாகும் ஆற்றலிழப்பை வருவிப்போம். விரிசலினுல் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பைப் பெரும்பா லான அளவு இந்தப் பகுதியில்தான் ஏற்படுகிறது எனச் சோதனை கள் மூலம் திட்டவட்டமாக தீர்மானிக்கப்பட்டிருக்கிறது.

நிலையான, அழுக்கமற்ற பாய்ம ஓட்டங்களுக்கு, தொடர், உந்த, ஆற்றல் சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்தி ஆற்றலிழப்பைக் கணக்கிடலாம்.



படம் 4·27. குழாயில் திடீர் விரிதல்

படத்திலுள்ளபடி ஆட்சிப்பருமனை எடுத்துச் சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசையைப் புறக்கணித்துவிட்டு ஒரு பரிமாண உந்தச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி x-திசையில் நீரின் மேற் செயற்படும் விசையைக் கணக்கிட்டால்,

$$(p_1-p_2)A=\rho Q(V_2-V_1)=\frac{wA_2}{g}(V_2^2-V_1V_2)$$

இதில் Q என்பது விரிசல் வழி பாயும் பாயுவீதத்தையும், ρ பாய்ம அடர்த்தியையும் குறிக்கும். தொடர்ச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$Q=V_1A_1=V_2A_2$$

அச்சைக் கிடைமட்டமாக எடுத்துக்கொண்டு, வெட்டு முகங்கள் 11, 22-க்கு பெர்னெலிச் சமன்பாட்டைக் கையாண்டால்,

$$\frac{p_1}{w}+\frac{V_1^2}{2g}=\frac{p_2}{w}+\frac{V_2^2}{2g}+h_2$$

இதில் h_2 ஒரு அலகு பருமனெடையில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பை உயரத்தில் குறிக்கிறது. இப்போது

$$h_2 = \frac{p_1 - p_2}{w} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$$

$$= \frac{V_2^2 - V_1 V_2}{g} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g}$$ (உந்தச் சமன் பாட்டிலிருந்து)

$$h_2 = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \qquad (4 \cdot 53)$$

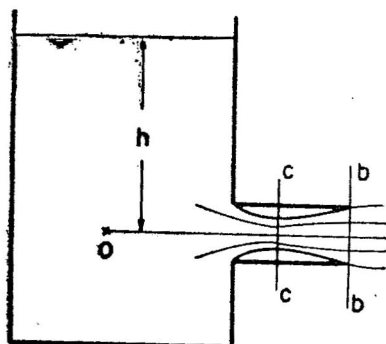
சோதனைகள் மூலம் சமன்பாடு 4·53 ஊர்ஜிதம் செய்யப்பட்டுள்ளது. இதிலிருந்து சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசையைப் புறக்கணித்த போதிலும் அதிகப்படியான தவறு நிகழவில்லை எனத் தெரிகிறது. கொந்தளிப்பால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பை ஒப்பிடும் போது சறுக்கு பெயர்ச்சி விசை மிகக் குறைவாக இருக்கவேண்டும். பாய்மக் கடத்தியிலிருந்து பாய்மம் பெரிய தொட்டியினுள் பாயும்போது $V_2 \approx 0$ ஆகும். ஆகவே, $h_2 = \frac{V_1^2}{2g}$. இதிலிருந்து அந்தப் பாய்மக் கடத்தியிலிருந்து வெளிப்படும் எல்லா இயக்க ஆற்றலும் அழிக்கப் படுகிறது எனத் தெரிகிறது.

4·26. வாயருகு கருவி (Mouthpiece)

துளையின் உட்புறம் அல்லது வெளிப்புறம் இணைக்கப்படும் ஒரு சிறிய குழாய்க்கு வாயருகு கருவி எனப் பெயர். உட்புறமாக அமைக்கப்பட்டால் உட்புற வாயருகு கருவி (internal mouthpiece) என்றும், வெளிப்புறமாக அமைக்கப்பட்டால் வெளிப்புற வாயருகு கருவி (external mouthpiece) என்றும் அழைக்கப்படுகிறது. இந்த வாயருகு கருவியிலிருந்து வெளிப்படும் பாய்மத் தாரையில் திசைவேகப் பகிர்வு சீராக இருக்கவேண்டுமானால், அதன் மேல் தொழிற்படும் தலைப்பு அதிகமாக இருக்கவேண்டும். இப்பகுதியிலுள்ள பகுப்பாய்வு எவ்விதமான அமைப்புள்ள வாயருகு கருவிக்கும் பயன்படுமானாலும், உருளைவடிவான வாயருகு கருவிகளைப் பற்றி மட்டும் படிப்போம். வாயருகு கருவியின் நீளம் அதன் விட்டத்திற்கு 3, 4 மடங்குகள் இருக்கவேண்டும். அப்போது தான் அதில் முழுமையாகத் திரவம் வெளிவரும். அதிக நீளமிருந்தாலும், அது குழாய் போன்று இயங்கத் தொடங்கிவிடும். ஆகவே, வாயருகு கருவியில் திரவம் முழுமையாக வெளிவாயிலை அடைத்துக்கொண்டு வருவதற்குத் தேவையான குறைந்த அளவு நீளமிருந்தால் போதும்.

4·27. வெளிப்புற வாயருகு கருவி

d விட்டமுள்ள ஒரு குழாய் ஒரு பெரிய பாத்திரத்தின் பக்கச் சுவரின் வெளிப் புறத்தில் அந்தப் பாத்திரத்தின் மற்ற பக்கச் சுவர்களின் விளைவுகளால் பாதிக்கப்படாத தூரத்தில் அமைக்கப்பட்டிருப்பதாக எடுத்துக்கொள்வோம். (படம் 4·28.) வளிமண்டலத்தில் திரவத்தைப் பாய்ச்சும் அவ்வாயருகு கருவியிற் தொழிற்படும் தலைப்பு h-ஆக இருக்கட்டும். துளையில் எவ்வாறு இழைக் கோடானது ஓரங்களிலிருந்து பிரிகிறதோ அதே போல் வாயருகு கருவியின் ஓரங்களிலிருந்து இழைக் கோடுகள் பிரிந்து, தாரைக் குறுக்கத்தில்



படம் 4·28. வெளிப்புற வாயருகு கருவி

(vena contracta) தாரையானது குறைந்த விட்டத்தை அடைகிறது. பிறகு அத்தாரை விரிவடைந்து வாயருகு கருவியின் வெளிப்புறத்தை முழுவதும் அடைத்துக் கொண்டு வெளிவருகிறது. கருவியின் வெளிப்புறம் முழுவதும் நிரம்பித் தாரையானது வெளிவர வேண்டும். வாயருகு கருவியின் வெளிவாயிலில் இழைக் கோடுகள் இணையாகவும், நேராகவும் இருப்பதால், அழுத்தமானது வளிமண்டல அழுத்தமாக இருக்க வேண்டும். பெர்னௌலிச் சமன்பாட்டை வாயருகு கருவியின் கிடை அச்சில் பல இடங்களில் பயன்படுத்தினால்,

$$h+\frac{p_a}{w}=\frac{p_c}{w}+\frac{V^2{}_c}{2g}=\frac{p_a}{w}+\frac{V^2}{2g}+\frac{(V_c-V)^2}{2g} \qquad (4.54)$$

இதில் $\frac{p_a}{w}$ என்பது வளிமண்டல அழுத்தத்தையும், $\frac{(V_c-V)^2}{2g}$ ஆற்றலிழப்பையும் குறிக்கும். O என்ற புள்ளியில் திசைவேகமானது புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு மிகச் சிறியதாக இருக்குமெனக் கொள்ளலாம். வெளித் திசைவேகம் (exit velocity) V ஆகும். வாயருகு கருவியின் நுழைவாயிலிருந்து தாரைக் குறுக்கம் வரையிலுள்ள பகுதியில் தாரையானது மூடுக்கப்படுவதால், ஆற்றலிழப்பை இந்தப் பகுதியில் புறக்கணிக்கலாம். ஆனால் தாரை விரியும் பகுதியில் சமன்பாடு 4·54-ல் உள்ளபடி ஆற்றலிழப்பு

ஏற்படும். CC என்ற வெட்டுமுகத்தில் தாரையின் குறுக்கக் கெழு (coefficient of contraction) C_c-ஆக இருக்குமானல் $V_c = \frac{V}{C_c}$ ஆகும். இதைச் சமன்பாடு 4·54-ல் இட்டு $C_c = 0{\cdot}62$ என எடுத்துக் கொண்டால்,

$$h = \frac{V^2}{2g} + \frac{V^2}{2g}\left(\frac{1}{C^{\ 2}} - 1\right) = \frac{V^2}{2g} + 0{\cdot}375\,\frac{V^2}{2g}$$

$$= 1{\cdot}375\frac{V^2}{2g}$$

$$\therefore\ V = \frac{1}{\sqrt{1{\cdot}375}}\sqrt{2gh} = 0{\cdot}855\sqrt{2gh} \qquad (4{\cdot}55)$$

ஆகவே, C_v என்ற வாயருகு கருவியின் திசைவேகக் கெழுவின் (coefficient of velocity) மதிப்பு 0·855 ஆகும். வாயருகு கருவியின் வெளிவாயிலில் திரவம் முழுவதும் அடைத்துக்கொண்டு வருவதால் bb என்ற வெட்டு முகத்தில் $C_c = 1$ ஆகும். ஆகவே, கொள்கை ரீதியான பாயுவீதக் கெழு 0·855-ஆக இருக்க வேண்டும். ஆனல் நடைமுறையில் உராய்வு போன்ற தடைகளால், C_d-ன் மதிப்பு 0·813-க்குக் குறைகிறது. இதிலிருந்து C_d-ன் மதிப்பு, துளையோடு ஒப்பிடும்போது மிக அதிகமெனத் தெரிகிறது.

சமன்பாடு 4·54-லிருந்து தாரைக் குறுக்கப் பகுதியில் அழுத்தத்தைக் கண்டறியலாம். இப்போது

$$\frac{p_a}{w} + h = \frac{p_c}{w} + \frac{V_c^{\,2}}{2g}$$

$$\frac{p_a}{w} + 1{\cdot}375\,\frac{V^2}{2g} = \frac{p_c}{w} + \left(\frac{V}{0{\cdot}62}\right)^2 \frac{1}{2g}$$

எனவே,

$$\frac{p_c}{w} = \frac{p_a}{w} - 1{\cdot}225\frac{V^2}{2g}$$

$$= \frac{p_a}{w} - 0{\cdot}89h \qquad (4{\cdot}56)$$

$\frac{p_c}{w}$-வின் கொள்கை ரீதியான குறைந்த அளவு மதிப்பு சுழியாதலால், வாயருகு கருவியில் தொழிற்படக் கூடிய அதிகமான தலைப்பு $\frac{p_a}{0{\cdot}89\,w}$

ஆகும். இருந்த போதிலும் நடைமுறையில் நீரானது 2 மீ நீர் உயரத் தனி அழுத்தத்தில் ஆவியாக மாறுவதால், அதிகப்படியான தலைப்பானது,

$$2 = 10{\cdot}33 - 0{\cdot}89h$$

$$\therefore\ h = \frac{8{\cdot}33}{0{\cdot}89} = 9{\cdot}35 \text{ மீ.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 4·26. ஒரு வெளிப்புற வாயருகு கருவியின் பாயுவீதக் கெழு 0·813 ஆகும். இந்த மதிப்பிற்கு வாயருகு கருவியில் தொழிற்படும் h என்ற தலைப்பிற்கும் தாரைக் குறுக்கத்தி லுள்ள அழுத்தத்திற்குமுள்ள தொடர்பைக் காண். $C_d = 0{\cdot}813$.

C_c-யின் மதிப்பு ஒன்று ஆதலால், $C_v = 0{\cdot}813$. இப்போது,

$$V = 0{\cdot}813\sqrt{2gh}$$

$$\therefore\ h = 1{\cdot}51\frac{V^2}{2g}$$

பெர்னெலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினுல்,

$$\frac{p_a}{w} + h = \frac{p_c}{w} + \frac{{V_c}^2}{2g}$$

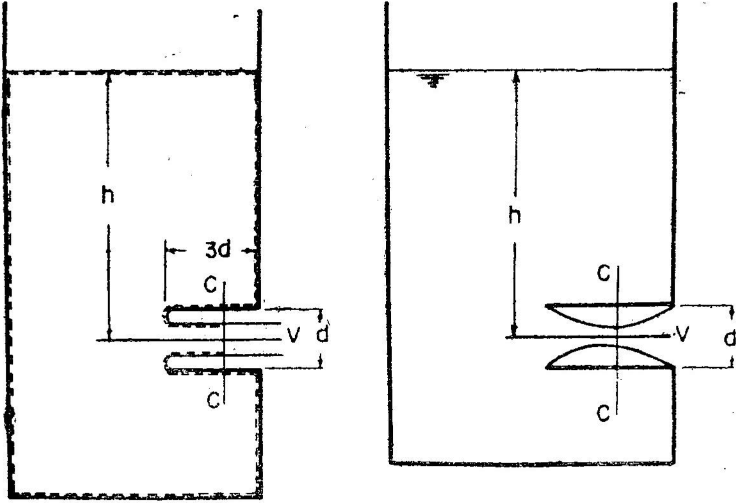
$$\frac{p_a}{w} + 1{\cdot}51\frac{V^2}{2g} = \frac{p_c}{w} + 2{\cdot}6\frac{V^2}{2g}\left(\because\ V_c = \frac{V}{0{\cdot}62}\right)$$

$$\therefore\ \frac{p_c}{w} = \frac{p_a}{w} - 0{\cdot}72h.$$

4·28. உட்புற வாயருகு கருவி

படம் 4·29-ல் உள்ளபடி ஒரு உட்புற வாயருகு கருவி ஒரு பாத்திரத்தில் உள்ளே நீட்டிக் கொண்டிருக்குமாறு அமைக்கப் பட்டிருக்கிறது. இதன் வழி பாயும் திரவ ஓட்டத்தின் தன்மைகளைப் பற்றி முதற்கண் ஆராய்ந்த இத்தாலிய நாட்டு விஞ்ஞானியான போர்டா என்பவரின் பெயரால் இவ்வமைப்பு போர்டா வாயருகு கருவி (Borda mouthpiece) என அழைக்கப்படுகிறது. இந்த வகையான வாயருகு கருவியானது பொறியியற்துறையில் நடைமுறையில் கையாளப்படாவிட்டாலும் உந்தச் சமன்பாட்டின் பயனை விளக்க இது பயன்படுகிறது. இந்த வாயருகு கருவியின் நீளம் $3d$-க்கும் குறைவாக இருக்குமானுல், தாரையானது வெளிப்படும் போது அதன் பக்கங்களைத் தொடாமல் வெளிவருகிறது. அப்படிப்

பட்ட தாரைக்குத் தொடாத் தாரை (running free) எனப் பெயர். வாயருகு கருவியின் நீளம் அதிகமானுல் தாரை கருவியின்



(அ) படம் 4·29. உட்புற வாயருகு கருவி (ஆ)

வெளிவாயிலேத் தொட்டுக் கொண்டு நிரம்பி வெளிவரும். இதற்குத் தொடும் தாரை (running full) எனப் பெயர். இந்த இருவகை நிலேகளேயும் படம் 4·29-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. மேலும் தாரை யின் இருவகை நிலேகள் h-ன் மதிப்பையும் சார்ந்துள்ளன.

தொடாத் தாரை : வாயருகு கருவியின் வெட்டுப் பரப்பு a-ஆகவும், அதன் மேற் தொழிற்படும் தலேப்பு h-ஆகவும் இருக்கட்டும். அக்கருவியிலிருந்து வெளிப்படும் தாரையின் பரப்பு தாரைக் குறுக்கத்தில் $C_c \times a$-ஆக இருக்கட்டும். இத்தாரை புவியீர்ப்பு விசையால் தாரைக் குறுக்கத்தில் பாதிக்கப்படவில்லே என எடுத்துக் கொள்வோம். C_c என்பது குறுக்கக் கெழுவாகும். வெளித் திசை வேகம் V ஆனுல், கோடிட்ட பாகத்தை ஆட்சிப்பருமனுக எடுத்துக் கொண்டு,

நிகரப் புறவிசை = உந்த மாறுபாட்டு விதம்

$$awh = \frac{wa_c V}{g}(V - 0) = \frac{wa_c V^2}{g}$$

வாயருகு கருவியின் பரப்பில் நிலேநீரியற் அழுத்தப் பகிர்வால் ஏற் படும் அழுத்த வேறுபாட்டைப் புறக்கணித்து விட்டு, பெர்னுலிச்

சமன்பாட்டைக் கிடை அச்சின் வழியாக உள்ள இழைக் கோட்டில் பயன்படுத்திஞல்,

$$h=\frac{V^2}{2g}+0$$

இதை உந்தச் சமன்பாட்டில் இட்டால்,

$$a_c=\frac{a}{2}$$

(அ-து) $$C_c=0{\cdot}5 \qquad (4{\cdot}57)$$

C_v-யின் மதிப்பு 1 என எடுத்துக்கொண்டால், $C_d=0{\cdot}5$. எனவே,

$$Q=0{\cdot}5\ a\sqrt{2gh}$$

தொடும் தாரை : வாயருகு கருவி உட்புறம் போதுமான அளவு நீட்டிக் கொண்டிருக்குமாஞல், தாரையானது அதன் வெளி விளிம்பைத் தொட்டுக் கொண்டு முழுவதும் நிரம்பி வெளிவரும். தாரையானது முதலில் குறுகிப் பின்னர் விரிந்து படம் 4·29(ஆ)-ல் உள்ளபடி வெளி வருகிறது. பெர்ஞெலிச் சமன்பாட்டைக் கருவியின் கிடை அச்சில் பயன்படுத்தி, விரிதலால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பை யும் எடுத்துக் கொண்டால்,

$$\frac{p_a}{w}+h=\frac{V_c^2}{2g}+\frac{p_c}{w}=\frac{V^2}{2g}+\frac{p_a}{w}+\frac{(V_c-V)^2}{2g}$$

$$=\frac{V^2}{2g}+\frac{p_a}{w}+\frac{V^2}{2g}\quad(\because V_c=2V)$$

$\therefore V=\sqrt{gh}$ ($C_c=0{\cdot}5$ எனத் தற்கோள் கொள்ளப்படுகிறது)

$C_v=1$ என எடுத்துக் கொண்டால், வாயருகு கருவியிலிருந்து பாயுவீதமானது,

$$Q=a\sqrt{gh} \qquad (4{\cdot}58)$$

எனவே,

$$\text{பாயுவீதக் கெழு } C_d=\frac{a\sqrt{gh}}{a\sqrt{2gh}}=\frac{1}{\sqrt{2}}=0{\cdot}707$$

எனவே, தொடாத தாரையைவிடப் பாயுவீதம் $\frac{1}{0{\cdot}5\sqrt{2}}$ அளவு அதிகரிக்கிறது.

தாரைக் குறுக்கத்தில் அழுத்தமானது,

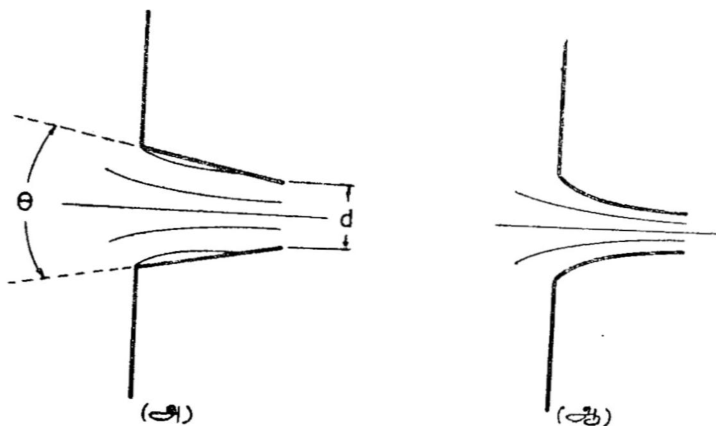
$$\frac{p_c}{w}=\frac{p_a}{w}+\frac{2V^2}{2g}-\frac{4V^2}{2g}$$

$$\therefore \frac{p_c}{w}=\frac{p_a}{w}-h$$

நடைமுறையில் $\frac{p_c}{w}$ வின் மதிப்பு 2 மீ நீரின் தனி உயரத்திற்குக் குறைவாக இருக்க முடியாது. எனவே, கருவியில் தொழிற்படும் தலைப்பு 8·33 மீ நீரின் உயரத்திற்கு அதிகமாக இருக்கக் கூடாது.

4·29. கூம்பு வாயருகு கருவி

உட்புற, வெளிப்புற வாயருகு கருவிகளின் பாயவீதக் கெழுவின் மதிப்பு அவற்றில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு காரணமாக ஒன்றுக்கும் குறைவாக இருக்கிறது. இந்த வாயருகு கருவியின் வழியாகப் பாயும் பாயுவீதம் நிலையற்றதாக இருக்கிறது. ஆகவே, இவ்வகைக் கருவிகள் பொறியியற் துறையில் அதிகப் பழக்கத்திலில்லை. ஆனால் வெளிப்புற வாயருகு கருவியைக் கூம்பு அமைப்புள்ளதாக மாற்றினால் அதன் குணங்கள் மேம்பாடடைகின்றன. இக்கூம்பு அமைப்பு விரிந்த கூம்பு, குவிந்த கூம்பு என இருவகைப்படும்.

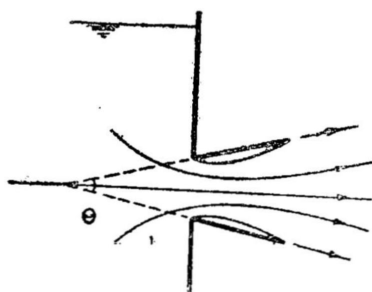


படம் 4·30. கூம்பு வாயருகு கருவி

குவிந்த கூம்பு அமைப்புடைய வெளிப்புற வாயருகு கருவி படம் 4·30 (அ)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் θ-வின் மதிப்பு

எதாக இருந்தாலும் பாய்ச்சல் நுழைவாயிலில் பிரிகிறது. ஆனல் தாரைக் குறுக்கத்திற்குப் பிறகு தாரை விரிவடைவதில்லை ஆதலால் இதில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு குறைவாக இருக்கும். θ-வின் மதிப்பு 13°-ஆக இருக்கும்போது C_v, C_d-ன் உச்ச மதிப்பானது முறையே 0·96, 0·95-ஆக இருக்கும். θ-வின் மதிப்பு மேலே குறிப்பிடப்பட்ட மதிப்பிற்கு அதிகரிக்கவோ அல்லது குறையவோ செய்யுமானல், C_d-யின் மதிப்பு 0·95-க்கு குறைவாகவே இருக்கும். இந்த வகை வாயருகு கருவியின் தன்மையை மேம்படுத்த அதன் நுழைவாயை மணிக்கூண்டு அமைப்புப்போல் படிப்படியாக வளைந்திருக்கும்படி அமைக்க வேண்டும். இவ்வகை வடிவமைப்பு படம் 4·30(ஆ)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் பிரிதல் முழுவதும் தவிர்க்கப் படுவதால், C_v, C_d-ன் மதிப்பு 0·92 முதல் 0·99 வரை இருக்கும். உராய்வுத் தடையில் இவற்றின் மதிப்புகள் ஒன்றிற்கும் குறைவாக இருக்கும். இவ்வகை வாயருகு கருவில் பாய்மம் வெளிவாய் முழுவதும் நிரப்பிக் கொண்டு வெளிவருவதால் C_c-யின் மதிப்பு ஒன்ருகும்.

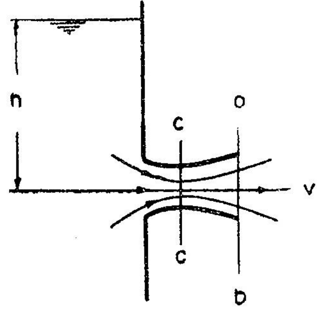
படம் 4·31-ல் விரிந்த வெளிப்புற வாயருகு கருவி காட்டப் பட்டுள்ளது. இதில் தாரையானது முதலில் குறுகிப் பின்னர் வெளி வாயில் விட்ட அளவிற்கு விரிந்து, வாயில் முழுமையு மாகத்தாரை வெளிப்படுகிறது. இந்தக் கருவியில் ஏற்படும் வெற்றிட அழுத்தம் (vacuum pressure) உருளை வடிவான வெளிப்புற வாயருகு கருவியில் ஏற்படுவதைவிட அதிகம். θ-வின் மதிப்பு அதிகரிக்க, இவ் வெற்றிட அழுத்தமும் அதிகரிக்கிறது. இந்த அமைப் பில் θ-வின் மதிப்பு ஒரு அள விற்கு மேல் அதிகரிக்கப்பட்டால், தாரையானது வாயருகு கருவியின் சுவர்களைத் தொடாமல் துளை அமைப்பிற் போன்று வெளிவரும். விரிந்த, வெளிப்புற வாயருகு கருவுயின் நுழைவாய் மணிக்கூண்டு அமைப்பிலிருக்குமானல், இழப்பு குறைவாக இருக்கும். இந்த மாதிரியான அமைப்பையே ஜெட் பம்புகள் (jet pumps), உந்திகள் (ejectors) முதலியவைகளில் கையாளு கிறோம். இவ்வகை அமைப்பிற்குக் குவிந்து-விரியும் வாயருகு கருவி (convergent-divergent mouthpiece) எனப் பெயர்.



படம் 4·31.
விரிந்த வெளிப்புற வாயருகு கருவி

4·30. குவிந்து விரியும் வாயருகு கருவி

எவ்விதமான பிரிதலும் ஏற்படாத அமைப்பையுடைய குவிந்து விரியும் வாயருகு கருவியை எடுத்துக் கொள்வோம். (படம் 4·32.) இந்த வகைக் கருவியில் பாயுவீதம் அதிகரிக்கப்படுகிறது. ஆனால் CC என்ற வெட்டு முகத்தில் பரப்பு குறுக்கமடைவதால், அழுத்தம் குறைகிறது. இப்போது CC-யில் அழுத்தமானது மாறுநிலை அழுத்தத்திற்குக் (critical pressure) குறைவாக ஏற்படாதவாறு CC-யின் பரப்பானது a_c-யும் கருவியின் வெளிவாயில் பரப்பான a-யும் இருக்க வேண்டுமெனப் பார்ப்போம். இழப்புகளை புறக் கணித்துவிட்டு பெர்னெலிச் சமன்பாட்டை கிடை அச்சில் பயன்படுத்தினல்,



படம் 4·32. குவிந்து விரியும் வாயருகு கருவி

$$h+\frac{p_a}{w}=\frac{p_c}{w}+\frac{V_c^2}{2g}=\frac{p_a}{w}+\frac{V^2}{2g} \qquad (4\cdot60)$$

ஆகவே, $V=\sqrt{2gh}$. எனவே, பாயுவீதமானது,

$$Q=a\sqrt{2gh} \qquad \text{இதில் } C_d=1$$

இந்தவகை அமைப்பில் p_c-யின் மதிப்பு தனிச் சுழி(absolute zero)க்குக் குறைவாக இருக்கமுடியாது. எனவே,

$$V_c=\sqrt{2g\left(h+\frac{p_a}{w}-\frac{p_c}{w}\right)}$$

$$\frac{V_c}{V}=\sqrt{1+\frac{p_a-p_c}{wh}}$$

ஆனல் $aV=a_cV_c$

$$\therefore\ \frac{a}{a_c}=\sqrt{1+\frac{p_a-p_c}{wh}} \qquad (4\cdot61)$$

நீர் பாயும்போது $\frac{p_c}{w}$-வின் மதிப்பு 2·33 மீ நீரின் உயரத்திற்குக் குறைவாக இருக்கக்கூடாது. மேலும் $\frac{p_a}{w}=10{\cdot}33$ மீ நீரின் உயரமாதலால்,

$$\frac{a}{a_c} \ngtr \sqrt{1+\frac{8}{h}}$$

எனவே, பரப்பு வீதமான $\frac{a}{a_c}$, h-ஐச் சார்ந்தது. h-ன் மதிப்பு அதிகரித்தல் $a \to a_c$.

மாதிரிக் கணக்கு 4·27. ஒரு குவிந்து-விரியும் வாயருகு கருவியின் தொண்டைப் பரப்பிற்கும், வெளிவாயிற் பரப்பிற்குமுள்ள உச்ச விகிதத்தின் மதிப்பைக் கீழ்க்கண்ட இழப்புகளையும் எடுத்துக் கொண்டு கணக்கிடுக. கருவியின் மேற் தொழிற்படும் தலைப்பு h. தொண்டைவரையுள்ள இழப்பின் மொத்த மதிப்பு $0{\cdot}05h$. கருவி முழுவதுமுள்ள இழப்பு $0{\cdot}16h$. தொண்டையில் அனுமதிக்கப்படும் குறைந்த அளவு தனி அழுத்தம் 2·33 மீ நீரின் உயரமாகும்.

$$\frac{p_a}{w}+h = \frac{p_c}{w} + \frac{V_c^2}{2g} + 0{\cdot}05h = \frac{p_a}{w} + \frac{V^2}{2g} + 0{\cdot}16h$$

$$\therefore \quad V = \sqrt{0{\cdot}84 \times 2gh} = 0{\cdot}92\sqrt{2gh}$$

$$(\because C_c = 1)$$

$$V_c = \sqrt{2g\left(10{\cdot}33+0{\cdot}95h - \frac{p_c}{w}\right)}$$

$$\therefore \frac{V_c}{V} = \frac{a}{a_c} = \sqrt{\frac{10{\cdot}33+0{\cdot}95 - \frac{p_c}{w}}{0{\cdot}84h}}$$

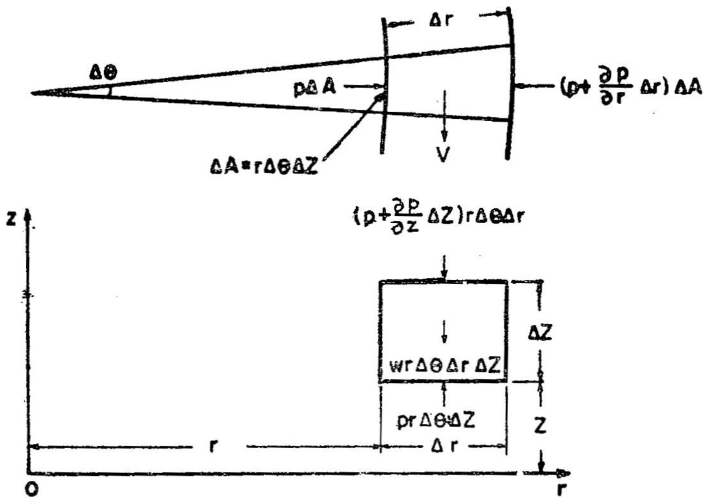
$\frac{p_c}{w} = 2{\cdot}33$ என எடுத்துக் கொண்டால்,

$$\frac{a}{a_c} \ngtr \sqrt{\frac{8+0{\cdot}95h}{0{\cdot}84h}}$$

$$\frac{a}{a_c} \ngtr \sqrt{1{\cdot}13 + \frac{1}{0{\cdot}105h}}$$

4·31. வளைந்த பாதைகளில் பாய்ச்சல் (Flow in Curved Paths)

வளைந்த பாதையில் சீரான வேகத்தில் செல்லும் ஒரு பாய்மத் தனிமம் மையநோக்கு முடுக்கத்திற்(centripetal acceleration)குள்ளாகிறது. இதனால் அவ்வளைவின் ஆரத் திசையில் அழுத்த வேறுபாடு ஏற்படுகிறது. நிலையாக ஒரு வட்டப் பாதையில் செல்லும் பாய்மத்தில் ஏற்படும் அழுத்தப் பகிர்வையும், திசை வேகத்தையும் பற்றிப் படிப்போம். இவ்வாறு வட்டப் பாதையில் பாய்மம் சுற்றுவதற்குச் சுழலியக்கம் (vortex motion) எனப் பெயர்.



படம் 4·33. வட்டப் பாதையில் தனிமம்

படம் 4·33-ல் $\triangle r$ என்ற மிகச் சிறிய இடைத் தூரத்தில் ஒரே மையமுள்ள இரண்டு வட்டங்கள் உள்ளன. இந்த இரண்டு வட்டங்களும் பாய்ம வட்ட ஓட்டத்தால் ஏற்படும் இழைக் கோடுகளாகும். பாய்மப் பாதையில் ஆரம் r-ஆகவும், அப்பாதையில் ஏற்படும் தொடுகோட்டுத் திசைவேகம் V-ஆகவும் இருக்கட்டும்.

இவ்வோட்டத்தில் தொடுகோட்டுத் திசையில் திசைவேகமானது V மாருமல் ஒரே அளவினதாக இருப்பதால், தடையற்ற ஓட்டத்தில் அத்திசையில் அழுத்த வேறுபாடு நிகழக் காரணம் இல்லை. ஆனல், இதற்கு நேர்குத்துத் திசையான ஆரத் திசையில் (radial direction) நேர்குத்து முடுக்கத்தால் (normal acceleration) அழுத்த வேறுபாடு ஏற்படுகிறது. Z எனக் குறிக்கப்படும் செங்குத்துத் திசையில் அழுத்தமானது நீர்நிலையியற் தன்மையுடையது.

இப்போது பகுப்பாய்வுக்கு எடுத்துக் கொள்ளப்படும் தனிமத்தின் பொருண்மை $\rho r \triangle\theta \triangle r$ ஆகும். இதில் $\triangle\theta$ என்பது அத்தனிமம் மையத்தில் தாங்கும் கோணமாகும். இத்தனிமத்தின் ஆரத் திசையில் தொழிற்படும் அழுத்த விசைகளின் வேறுபாடு மைய நோக்கு முடுக்கவிசைக்குச் சமமாகும். அத்தியாயம் 3-ல் மைய நோக்கு முடுக்கத்தின் மதிப்பு $\frac{V^2}{r}$ எனக் காட்டப்பட்டுள்ளது. இப்போது பாய்மத் தனிமத்தின் ஆரத் திசையில் தொழிற்படும் விசைகளை, வெகு சிறிய மதிப்புள்ள உருப்பைப் புறக்கணித்து விட்டுச் சமன்படுத்தினால்,

$$\left(p+\frac{\partial p}{\partial r}\triangle r\right)\triangle A - p\triangle A = \rho\triangle A\triangle r\,\frac{V^2}{r}$$

$$\therefore\ \frac{\partial p}{\partial r} = \rho\ \frac{V^2}{r} \qquad (4\cdot62)$$

இதிலிருந்து ஆரத்தின் மதிப்பு அதிகரிக்கும் திசையில் அழுத்தமும் அதிகரிக்கும் எனத் தெரிகிறது. ஆனால் இச்சமன்பாட்டைத் தொகுக்க V, r இரண்டிற்குமுள்ள தொடர்பு தெரிய வேண்டும். இப்போது z-திசையிலுள்ள விசைகளை எடுத்துக்கொண்டால்,

$$pr\triangle\theta\triangle r - \left(p+\frac{\partial p}{\partial z}\triangle z\right) r\triangle\theta\triangle r - \rho g r\triangle\theta\triangle r\triangle z = 0$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \qquad (4\cdot63)$$

ஆகவே, வளைந்த பாதைகளில் செல்லும் பாய்ம ஓட்டத்திற்கான அடிப்படைச் சமன்பாடுகள் 4·62, 4·63 ஆகும். இப்போது வட்டப் பாதைகளில் செல்லும் திணிச் சுழல் (forced vortex), கட்டற்ற சுழல் (free vortex) இவற்றைப்பற்றி படிப்போம்.

4·32. திணிச் சுழலியக்கம்

திரவமுள்ள செங்குத்தான உருளை வடிவப் பாத்திரம் படம் 4·34-ல் உள்ளபடி அதன் மைய அச்சில் நிலையான கோணத் திசை வேகமான ω-ல் சுழல்வதாக எடுத்துக் கொள்வோம். அந்த உருளையின் சுவற்றிற்கு அண்மையிலுள்ள திரவத் துகள்கள் அந்தப் பாத்திரம் என்ன வேகத்தில் சுற்றுகிறதோ அதே வேகத்தில் சுழலும். சுழலும் அச்சிலிருந்து r ஆரத்திலுள்ள ஒரு திரவத் தனிமத்தின் தொடு கோட்டுத் திசைவேகம் ωr ஆக இருக்கும். இழைக் கோடுகள்

ஒரே மையமுடைய வட்டங்களாக இருக்கும். இந்தப் பாத்திரத்தி லுள்ள திரவமானது ஒரே அளவு இரட்டைத் திருப்புதிறனுக்கு (torque) உட்படுகிறது. இந்த நிலையில் வட்டப் பாதையில் சுழ லும் ஒரு ஓட்டத்திற்குத் திணிச் சுழல் எனப் பெயர்.

சமன்பாடுகள் 4·62, 4·63-ல் $V=\omega r$-ஐ இட்டால்,

$$\frac{\partial p}{\partial r}=\rho\omega^2 r$$

$$\frac{\partial p}{\partial z}=-\rho g=-w$$

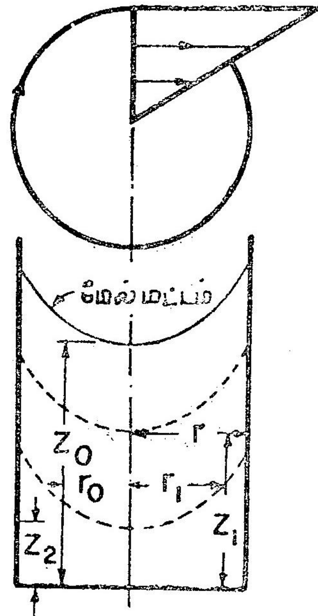
அழுத்தமானது r, z திசைகளில் மட்டும் மாறுவதால்,

$$dp=\frac{\partial p}{\partial r}dr+\frac{\partial p}{\partial z}dz$$

$$=\rho\omega^2 r\,dr-wdz$$

தொகையிட்டால்,

$$p=\frac{\rho\omega^2 r^2}{2}-wz+C$$



படம் 4·34. திணிச் சுழல்

திரவத்திலுள்ள 1, 2 என்ற புள்ளிகளை எடுத்துக்கொண்டு அப் புள்ளிகளிலுள்ள மதிப்புகளை மேலே உள்ள சமன்பாட்டில் இட்டால்,

$$\frac{p_2-p_1}{\rho}=\tfrac{1}{2}\omega^2\left(r_2^{\,2}-r_1^{\,2}\right)+g\left(z_1-z_2\right) \qquad (4\cdot64)$$

ஒரு கிடைத்தளத்தில் அந்த இரண்டு புள்ளிகளும் இருக்குமானல் $Z_1=Z_2$. எனவே,

$$\frac{p_2-p_1}{w}=\frac{V_2^{\,2}-V_1^{\,2}}{2g} \qquad (4\cdot65)$$

ஆகவே, அழுத்தமானது சுழலும் அச்சிலிருந்து ஆரத் திசை யில் அதிகரிக்கிறது. சம அழுத்தமான தளங்கள் பரவளைவு (parabola)அமைப்பை உடையதாக இருக்கின்றன. இந்தத் தளங் களைச் சுழலும் பரவளைவுரு (paraboloid of revolution) தளங்கள் என அழைக்கிறோம்.

திரவத்தின் மேல்மட்டத்தில் உயர வேறுபாடு $Z_2 - Z_1 = \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g}\right)$ ஆகும். மையவிலக்கு விசையால் ஏற்படும் தலைப்பு வேறுபாடே, திசைவேகத் தலைப்பு வேறுபாடாகிறது.

திணிச் சுழலில் ஏற்படும் ஓட்டமானது சுழற்சியுள்ளதாக (rotational) இருப்பதால், அத்தியாயம் 3-ல் இவ்வகை ஓட்டங்களுக்குப் பாய்ச்சல் வலையைப் பயன்படுத்தமுடியாது எனக் கண்டோம். பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைத் திணிச் சுழலில் எந்த இரு புள்ளிகளுக்குமிடையே பயன்படுத்த முடியாது; ஆனால் ஒரு இழைக் கோட்டிலுள்ள எந்த இரு புள்ளிகளுக்கும் பயன்படுத்தலாம். திணிச்சுழல் ஓட்டமானது மையவிலக்கு ஓட்டமுள்ள பம்புகள் (centrifugal pumps), டர்பைன் சுழலிகள் (turbine rotors), புயற்காற்றின் மையம் போன்றவைகளில் ஏற்படுகிறது. திணிச் சுழலுக்கு நாம் புறத்திலிருந்து கொடுக்கும் இரட்டைத் திருப்பு திறன் நிறுத்தப்பட்டால், திரவப் பாகுநிலையாலும், கொந்தளிப்பாலும், ஓட்டமானது தன்னுடைய ஆற்றலை இழந்து அமைதியான நிலைமையை அடைகிறது.

4·33. கட்டற்ற சுழலியக்கம் (Free Vortex Motion)

கழுவுத் தொட்டியில் (wash basin) நீர் நிறைந்திருக்கும்போது அடியிலுள்ள அடைப்பானைத் (plug) திறந்துவிட்டால் ஏற்படும் நீரோட்டத்திற்குக் கட்டற்ற சுழல் எனப் பெயர். புறத்திலிருந்து எந்தவிதமான இரட்டைத் திருப்புதிறனை பயன்படுத்தாதிருந்தும் இந்த வட்ட ஓட்டம் நிகழ்வது நோக்கற்பாலது. இரட்டைத் திருப்புதிறன் செயற்படாததால், நேரத்திற்கு நேரம் கோண உந்தத்தில் எவ்வித மாறுதலும் ஏற்படுவதில்லை. சுழலும் அச்சிலிருந்து r ஆரதூரத்தில் V தொடுகோட்டுத் திசைவேகமுள்ள m பொருண்மையுடைய தனிமத்தை எடுத்துக்கொண்டால்,

$$\frac{\partial}{\partial t}(mVr) = 0$$

தொகையிட்டால்,

$$rV = C \qquad (4{\cdot}66)$$

எனவே, கட்டற்ற சுழலில் தொடுகோட்டுத்திசைவேகம், ஆரத்தூரத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கிறது. அத்தியாயம் 3-ல் தனிச் சுழல் ஓட்டமானது சுழற்சியற்றது எனப் பார்த்தோம். ஆதலால் பெர்னுலிச் சமன்பாட்டை எந்த இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையேயும்

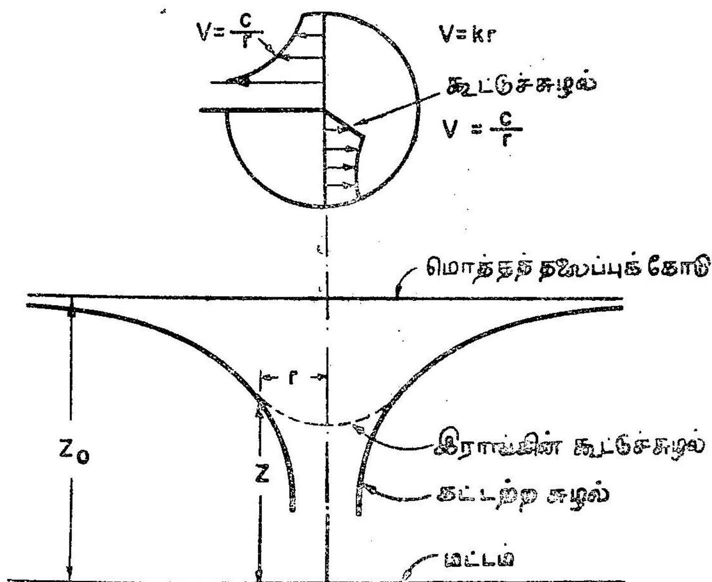
அப் பாய்மப் புலத்தில் பயன்படுத்தலாம். சமன்பாடு 4·66-ஐச் சமன்பாடு 4·62-ல் இட்டால்,

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \rho\frac{C^2}{r^2} \qquad (4{\cdot}67)$$

ஒரு நிலையான கட்டற்ற சுழலில் p என்பது r-ஐ மட்டும் சார்ந்தது. ஆகவே, dp என்பதை எடுத்துக் கொண்டு சமன்பாடுகள் 4·67, 4·63-ஐ புள்ளிகள் 1, 2-க்கு இடையே தொகுத்தால்,

$$\frac{p_2 - p_1}{\rho} = \tfrac{1}{2}C^2\left(\frac{1}{r_1^{\,2}} - \frac{1}{r_2^{\,2}}\right) + g(Z_1 - Z_2) \qquad (4{\cdot}68)$$

இது கட்டற்ற சுழலுக்கான பொதுச் சமன்பாடாகும். படம் 4·35-லுள்ள திரவத்தின் மேல்மட்டத்தை $p_1 = p_2 = p_a = 0$ என இட்டு அடையலாம். அதாவது



படம் 4·35. கட்டற்ற சுழல்

$$Z_2 - Z_1 = \frac{1}{2}\,\frac{C^2}{g}\left(\frac{1}{r_1^{\,2}} - \frac{1}{r_2^{\,2}}\right)$$

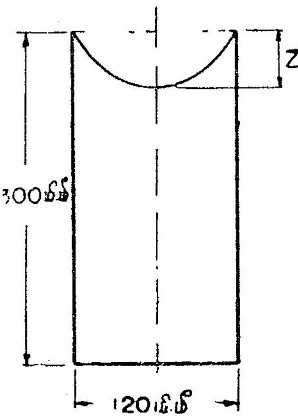
அல்லது

$$Z = Z_0 - \frac{1}{2}\,\frac{C^2}{gr^2}$$

சமன்பாடு 4·68-ல் $r_1V_1 = r_2V_2 = rV = C$ என்ற சமன்பாட்டை இட்டு அது பெர்னௌலிச் சமன்பாட்டைப் பூர்த்தி செய்கிறது ஆதலால் சுழற்சியற்றது என நிரூபிக்கலாம்.

$r=0$-ஆக இருக்கும்போது நடைமுறையில் வரம்பில்லாத் திசைவேகத்தை அடைதல் முடியாது. மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங்களில் பாகுநிலையால், திசைவேகம் அச்சை அணுகும்போது குறைந்து திணிச் சுழற் தன்மையை அடைகிறது. ஆகவே, அச்சிற்கு அண்மையில் திணிச் சுழற் தன்மையையும் வெளிப் பக்கங்களில் கட்டற்ற சுழற் தன்மையையும் உடைய ஓட்டத்திற்கு இராங்கின் கூட்டுச் சுழல் (Rankine combined vortex) எனப் பெயர். இவ்வகைக் கூட்டுச் சுழல் புயல்களில் (tornadoes) ஏற்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 4·28. 120 மிமீ விட்டம், 300 மிமீ உயரமுள்ள ஒரு உருளைப் பாத்திரத்தில் நீரானது அதன் மேல் விளிம்பு வரை இருக்கிறது. அந்தப் பாத்திரத்தை அதன் மைய அச்சில் நிமிடத்திற்கு 200 சுற்றுகள் சுற்றினால், எந்த அளவு நீர் வெளிவரும்?



$d=120$ மிமீ $=0{\cdot}12$ மீ

$h=300$ மிமீ $=0{\cdot}3$ மீ

$N=200$ சுற்றுகள்/நிமிடம்

நடு அச்சில் $Z=\dfrac{V^2}{2g}$

இதில் V என்பது விளிம்புத் திசைவேகமாகும்.

$$V=\frac{\pi DN}{60}=\frac{\pi\times 0{\cdot}12\times 200}{60}=1{\cdot}26 \text{ மீ/வி}$$

$$\frac{V^2}{2g}=\frac{1{\cdot}26^2}{2\times 9{\cdot}81}=0{\cdot}08 \text{ மீ}$$

$$\text{வெளியே சிந்திய நீரின் அளவு} = \frac{1}{2}\;\frac{\pi D^2}{4}\times Z$$

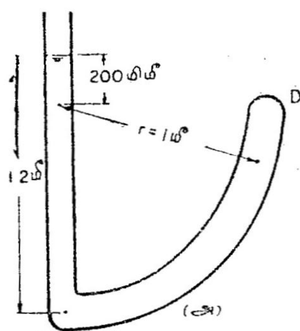
$$=\frac{1}{2}\times\frac{\pi\times 0{\cdot}12^2}{4}\times 0{\cdot}08$$

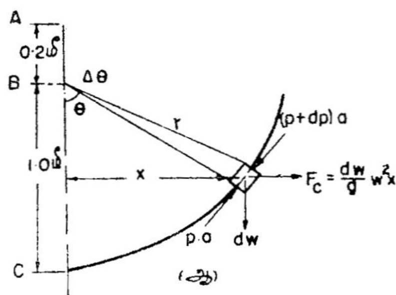
$$=45{\cdot}4\times 10^{-4} \text{ மீ}^3.$$

மாதிரிக் கணக்கு 4·29. படத்திலுள்ள ஒரு குழாயின் வளைந்த பாகமான CD 1 மீ ஆரமுள்ள கால்வட்ட அமைப்பில் மையம் B-யிலிருக்கிறது. வளைந்த பாகத்தின் முனை மூடப்பட்டும், செங்குத்துப் பாகத்தின் முனை வளிமண்டலத்திற்குத் திறந்தும் இருக்கின்றன. நீரின் உயரம் 1·2 மீ இருக்கிறது. வளைந்த பாகமும்

நீரால் அதன் முனையை மூடுவதற்கு முன் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. ABC என்ற அச்சில் இவ்வமைப்பை எந்த வேகத்தில் சுற்றினால், C, D என்ற புள்ளிகளில் அழுத்தம் சமமாக இருக்கும்? அந்த அழுத்தத்தின் உச்ச மதிப்பென்ன ?

C என்ற புள்ளியில் அழுத்தம் 120 செமீ உயரத்திற்குச் சமம். D என்ற புள்ளியில் அழுத்தமானது அந்த அமைப்பு சுற்றப் படுவதற்கு முன் (120—100)=20 செமீ-ஆக இருக்கவேண்டும். எனவே, அழுத்தமானது 120 — 20=100 செமீ=1 மீ நீரின் உயரத்திற்கு D-ல் அதிகரிக்கப்படவேண்டும். இந்த அழுத்த அதிகரிப்பு அவ்வமைப்பைச் சுற்றுவதால் ஏற்படவேண்டும்.





அவ்வமைப்பு நிமிடத்திற்கு N தடவைகள் சுழலட்டும்.

$$V = \frac{\pi DN}{60} = \frac{\pi \times 2 \times N}{60} \text{ மீ/வி}$$

$$\frac{V^2}{2g} = 1 \text{ மீ}$$

$$\therefore \frac{\pi^2 \times N^2 \times 4}{2g \times 60^2} = 1$$

$$\therefore N = \frac{60}{2\pi}\sqrt{2g} = 42 \text{ சுற்றுகள்/மணி}$$

dW எடையுள்ள தனிமத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். அத் தனிமம் சமநிலையிலிருப்பதால், அதில் தொழிற்படும் நிகர விசை சுழியாக இருக்கவேண்டும். நிலையான கோணத் திசைவேகமான ω-க்கு,

$$dp \cdot a + dw \sin\theta = \frac{dw\ \omega^2 x}{g} \cos\theta$$

இப்போது $x = r \sin\theta$

$$dw = wr\, d\theta . a$$

$$\therefore\ a = \frac{dw}{wr\, d\theta}$$

சமநிலைச் சமன்பாட்டில் மேலேயுள்ள மதிப்புகளை இட்டால்.

$$dp = \frac{\omega^2 r^2}{2g} w \sin 20\, d\theta - wr \sin\theta\, d\theta$$

தொகையிட்டால்,

$$p = -\frac{\omega^2 r^2}{4g}\ w \cos 2\theta + wr \cos\theta + C$$

எல்லை நிபந்தனைகளான

$$\theta = 0,\ \omega = 0,\ p = w\,(h + r)$$

என்பதைப் பயன்படுத்தினுல்,

$$C = wh$$

எனவே,

$$\frac{p}{w} = -\ \frac{\omega^2 r^2}{4g}\ \cos 2\theta + r \cos\theta + h$$

$\frac{p}{w}$ என்பது பெருமமாக இருக்கவேண்டுமானுல்,

$$\frac{dp}{d\theta} = 0$$

$$\therefore\ \sin\theta\ (1 - 2\ \cos\theta) = 0$$

(அ-து) $\cos\theta = \frac{1}{2}$

$$\theta = 60^\circ$$

θ-வின் மதிப்பை அழுத்தத்திற்கான சமன்பாட்டில் இட்டால்,

$$w^2 = \frac{2g}{r}$$

அதாவது

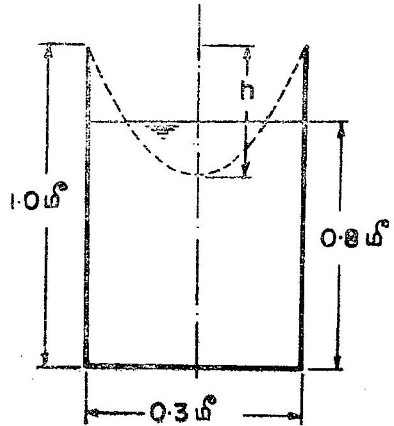
$$\left(\frac{p}{w}\right)_{\text{பெரும}} = \frac{3}{4} \times r + h = \frac{3}{4} \times 100 + 20 = 95 \text{ மீ நீர் உயரம்}$$

மாதிரிக் கணக்கு 4·30. 1 மீ உயரம், 0·3 மீ விட்டமுள்ள ஒரு வட்டத் தொட்டியில் 0·8 மீ ஆழம் நீர் இருக்கிறது. இந்தத் தொட்டியை அதன் மைய அச்சில் எந்த உச்ச வேகத்தில் சுற்றினுல் அதிலுள்ள நீர் வெளியில் சிந்தாது. இப்போது அப்பாத்திரத்தின் அடிப்பாகத்திலும், பக்கங்களிலும் ஏற்படும் விசை வேறுபாடுகளின் மதிப்பைக் காண்.

பரவளையுருவின் உயரம் h-ஆக இருக்கட்டும். இப்போது நீர் வெளிவராததலால்,

$$\tfrac{1}{2}\pi\times0{\cdot}15^2h+\pi\times0{\cdot}15^2(1-h)=\pi\times0{\cdot}15^2\times0{\cdot}8$$

$$\therefore\ h=0{\cdot}4 \text{ மீ}$$



கோணத் திசைவேகம் ω-ஆக இருக்குமானுல்,

$$\frac{\omega^2r^2}{2g}=0{\cdot}4$$

$$\omega^2=\frac{0{\cdot}4\times2\times9{\cdot}81}{0{\cdot}15^2}$$

$$\therefore\ \omega=18{\cdot}65$$

$N=178{\cdot}4$ சுற்றுகள்/நிமிடம்

அழுத்தப் பகிர்வு நீர்நிலையியற் தன்மையது.

சுற்றப்படுவதற்கு முன்,

$$\pi\times0{\cdot}15^2\times0{\cdot}8\times1000=56{\cdot}5 \text{ கிகி}$$

சுற்றப்பட்ட பின், $\pi\times0{\cdot}15^2\times0{\cdot}6+1000+\int_0^{0\cdot15}w\ 2\pi r\,\frac{\omega^2r^2}{2g}\,dr$

$$=42{\cdot}5+\frac{\pi\omega^2w}{4g}\Big[\ r^4\ \Big]_0^{0\cdot15}$$

$$=42{\cdot}5+\frac{\pi\times18{\cdot}65^2\times0{\cdot}15^4\times1000}{4\times9{\cdot}81}$$

$$=42{\cdot}5+141=183{\cdot}5 \text{ கிகி}$$

விசை வேறுபாடு$=183{\cdot}5-56{\cdot}5=127{\cdot}0$ கிகி

பக்கங்களில் நிர்நிலையியல் விசை :

$$\text{சுற்றப்படுவதற்கு முன்} = \frac{\pi D \times w\rho^2}{2}$$

$$= \frac{\pi \times 0{\cdot}3 \times 1000 \times 0{\cdot}8^2}{2}$$

$$= 310 \text{ கிகிஎ}$$

$$\text{சுற்றப்பட்டபின்,} \quad = \frac{\pi \times 0{\cdot}3 \times 1000 \times 1^2}{2}$$

$$= 415 \text{ கிகிஎ}$$

அழுத்த விசையில் வேறுபாடு $= (415 - 310) = 175$ கிகிஎ.

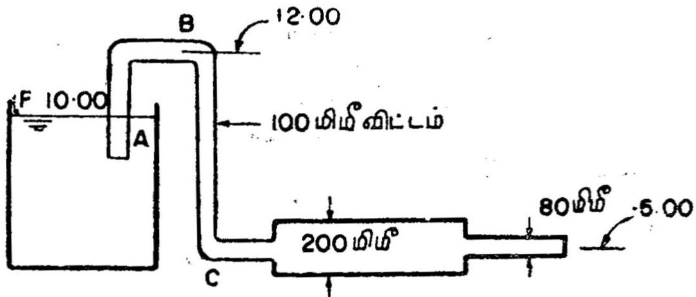
பயிற்சிக் கணக்குகள்

4·1. ஒரு கிடை உருளை வடிவான குழாயின் முடிவு விட்டங்கள் (end diameters) 150 மிமீ, 80 மிமீ ஆனால், அதன்வழி பாயும் நீரின் அளவு 50 லி/வி-யாக இருக்கும் போது, அதன் முடிவு பக்கங்களில் திசைவேகம் என்ன? பெரிய பக்கத்தில் அழுத்தம் 15 கிகிஎ/செமீ^{2}-ஆக இருக்குமானல், சிறிய பக்கத்தில் அழுத்தம் என்ன?

4·2. 300 மிமீ விட்டக் குழாய் 8500 லி/வி பாயுவீதத்தில் நீரைக் கடத்துகிறது. A என்ற புள்ளியில் அழுத்தம் 2·5 கிகிஎ/செமீ^{2}. A என்ற புள்ளி B என்ற புள்ளியை விட 5 மீ உயரத்தில் இருக்கிறது. A, B என்ற புள்ளிகளுக் கிடையேயுள்ள தூரத்தில் இழப்பால் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடு 10 மீ நீரின் உயரமானல் B-ல் அழுத்தம் என்ன?

4·3. ஒப்பு அடர்த்தி 0·92 உள்ள எண்ணெயை 3 மீ ஆழத்தி லுள்ள பாதாளத் தொட்டியிலிருந்து (sump) பம்பானது உறிஞ்சி 12 மீ உயரத்திலுள்ள தொட்டிக்கு அனுப்பு கிறது. உறிஞ்சு பாதையிலும் அனுப்பு பாதையிலும் இழப்புகள் முறையே 3 மீ, 112 மீ எண்ணெய் உயரமாகு மானல் அந்த பம்பிற்கு முன்னும் பின்னுமுள்ள அழுத்தங்களின் மதிப்புகள் என்ன? உறிஞ்சு குழாயில் திசைவேகம் 3 மீ/வி. அனுப்பு, உறிஞ்சு குழாய்களின் விட்டவிகிதம் 0·8. பம்பின் மொத்தத் திறம் 60% ஆனல் பம்பின் திறன் என்ன?

4·4. படத்திலுள்ள வடிகுழாயில் உராய்வைப் புறக்கணித்து



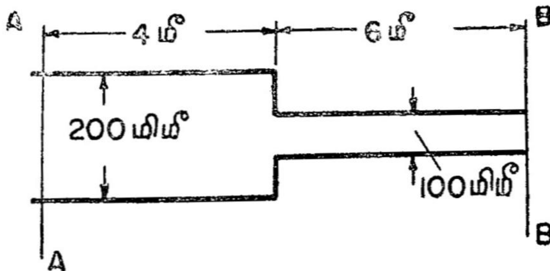
விட்டு, வெளிவாயில் பாயுவீதத்தைக் காண். குறுக்கத்தால் ஏற்படும் இழப்பு $0·375 \frac{V^2}{2g}$.

4·5. கணக்கு 4·4-ல் மொத்தத் தலைப்புக் கோட்டையும், குழாய்மானித் தலைப்பு கோட்டையும் வரைக. B-யில் அழுத்தம் என்ன?

4·6. காற்று தாரை பல அளவுகளையுடைய பொருள்களைப் பிரிக்கப் பயன்படுகிறது. அந்தத் தாரையின் திசைவேகம் 80 மீ/வி-யானால், அழுத்தம் என்ன? அழுத்தத்தை அளக்கும் இடத்திற்கும் தாரையின் முனை(nozzle)க்குமுள்ள இடைத் தூரத்தில் இழப்பு 20 மிமீ நீர் உயரமாகும். (காற்றின் வெப்பநிலை 25°C.)

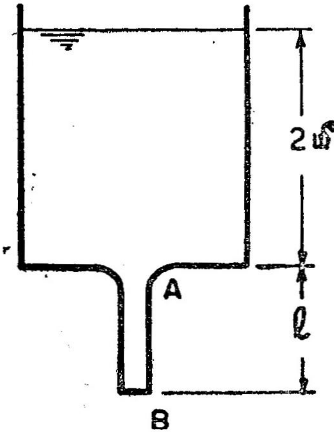
4·7. ஒரு நீர்புழலின் (water tunnel) சோதனையிடத்தின் வெட்டுப் பரப்பு 150 மிமீ × 100 மிமீ. அதன் வெளிவாய் சோதனையிடத்திலிருந்து 2 மீ கீழே இருக்கிறது. சோதனை இடத்தில் —7 மீ நீர் உயரம் அழுத்தத்தை உண்டாக்க அவ்விடத்தில் என்ன திசைவேகம் இருக்கவேண்டும்?

4·8. படத்திலுள்ள குழாயின் வழியாக நீர் பாய்கிறது. A



என்ற வெட்டு முகத்தில் திசைவேகம் 2·5 மீ/வி,

அழுத்தம் 200 கிகி/மீ². A,B என்ற வெட்டு முகங்களிடையே இழப்பு 2 மீ நீர் உயரமானால், B-யில் திசைவேகம், அழுத்தம் முதலியவற்றைக் கணக்கிடு. குழாய் மானித் தலைப்பு, மொத்தத் தலைப்புக் கோடுகளை வரைக. (குறுக்கத்தால் ஏற்படும் இழப்பு 1·5 மீ; மற்றவை உராய்வால் ஏற்படுகின்றன.)

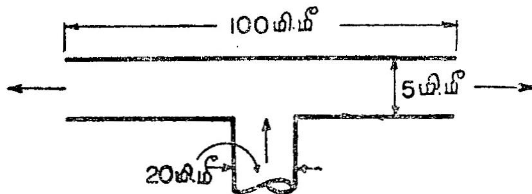


4·9. குழாயிலுள்ள சராசரித் திசைவேகத்தை விட A என்ற புள்ளியில் திசைவேகம் 1·5 மடங்கு அதிகம். A என்ற புள்ளியில் அழுத்தம் —8 மீ நீர் உயரத்திற்குக் குறையாமல் இருக்க AB என்ற குழாயின் நீளம் என்ன? AB-யில் ஏற்படும் மொத்த இழப்பு 0·25 மீ நீர் உயரமாகும்.

4·10. ஒரு கூரை உச்சியில் இழைக் கோடுகளின் இடைத் தூரம் கட்டற்ற இடத்திலுள்ள இழைக் கோடுகளின் இடைத் தூரத்தில் கால் பங்கு. காற்றானது 200 கிமீ/மணி வேகத்தில் வீசினால், கூரைக்குச் சிறிது பின்புறம் என்ன அழுத்தம் இருக்கும்? காற்றின் வெப்பநிலை 20°C.

4·11. ஒரு காற்றுகடத்தி 0·5 மீ² பரப்பிலிருந்து 0·2 மீ² பரப்பிற்குப் படிப்படியாகக் குறைகிறது. இடைத் தூரத்திலுள்ள இழப்புகளை புறக்கணித்துவிட்டு இப் பரப்புகளிடையேயுள்ள அழுத்த வேறுபாட்டைக் காண். காற்றின் எடை 1·2 கிகி/மீ³. காற்றின் வெப்பநிலை 30°C.

4·12. சலனமற்ற இரண்டுவட்ட இணைத் தகடுகளுக்கிடையே



நீர் 1·5 லி/வி என்ற வீதத்தில் பாய்கிறது. இவ்வமைப்பு

படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. அடியிலுள்ள வட்டத் தகட்டில் ஏற்படும் நிகர விசை என்ன?

4·13. 100 மிமீ விட்டமுள்ள இரண்டு இணைத்தகடுகளுக்கிடையே நீர் உள்நோக்கிப் பாய்கிறது. இடைத்தூரம் 10 மிமீ. அடித்தகட்டின் மத்தியிலுள்ள 25 மிமீ விட்டத் துளை வழியாக நீர் வெளிப்படுகிறது. பாயுவீதம் 2·4 லி/வி. மத்தியிலுள்ள அழுத்தம், மேற்தட்டிலுள்ள நிகர விசை இவற்றைக் காண்.

4·14. ஒரு 300 மிமீ சதுரக் காற்றுகடத்தியின் மத்தியில் பிட்டாட்மானி பொருத்தப்பட்டுள்ளது. அப் பிட்டாட்மானியால் அதனுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ள கார்பன்டெட்ராகுளோரைடு U-குழாயில் 150 மிமீ காட்சிப்பதிவு (reading) ஏற்படுத்தப்படுகிறது. அந்த இடத்தில் நிலை அழுத்தம் 9·0 கிகி/செமீ^{2} ஆனல் காற்றின் திசைவேகம் என்ன? காற்றின் வெப்பநிலை 30°C.

4·15. 0·5 மீ விட்டமுள்ள குழாயில் நீரின் பாயுவீதம் 2·5 மீ^{3}/வி. திசைவேகம் சீராக இருப்பதாகக் கொண்டு ஒரு பிராண்டல் குழாயோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும் பாதரச நீர் U-குழாய் அழுத்தமானியிலுள்ள காட்சிப்பதிவு என்ன?

4·16. ஒரு பிட்டாட் குழாயின் கெழு 0·97. அக்குழாய் 300 மிமீ விட்டமுள்ள நீர்க் குழாயின் மத்தியில் பொறுத்தப்பட்டபோது தேக்க அழுத்தம் 2·95 நீர் உயரம். நிலை அழுத்தம் 1·75 மீ நீர் உயரம். அந்தப் புள்ளியில் நீரின் திசைவேகம் என்ன? இந்தத் திசைவேகத்தில் 90% சராசரித் திசைவேகமெனக் கொண்டு நீரின் பாயுவீதத்தைக் காண்.

4·17. தேக்க அழுத்தத்திற்கும் நிலை அழுத்தத்திற்குமுள்ள வேறுபாட்டை பிராண்டல் குழாய் அளக்கிறது. அவ்வழுத்த வேறுபாடு சாராய (S=0·79) U-குழாய்மானியில் 30°C வெப்பநிலையில் காற்று பாயும்போது 100 மிமீ காட்சிப் பதிவை உண்டாக்குகிறது. அந்தப் புள்ளியில் காற்றின் திசைவேகம் என்ன?

4·18. ஒரு கோல் பிட்டாட்மானி இரண்டு எதிர்எதிர் திசைகளை நோக்கியுள்ள முனைகளையுடைய குழாய்களால் ஆனது. அது 140 மிமீ பாதரச உயரத்தை ஒரு பாதரச-நீர் U-குழாயில் காட்டுமானல், நீரின் திசைவேகம் என்ன? கோல்மானியின் கெழு 0·85.

4·19. துளையையுடைய ஒரு மூடிய தொட்டியில் அழுத்த மானி 2·5 கிகௌ/செமீ² காட்சிப்பதிவைக் காட்டுகிறது. அதிலிருந்து வெளிப்படும் நீர்த் தாரையில் ஓர் புள்ளி தாரைக் குறுக்கத்திலிருந்து $x = 22·8$ செமீ, $y = 4·9$ செமீ தூரத்திலிருக்கிறது. $C_c = 0·61$. C_d-யின் மதிப்பைக் கணக்கிடு. துளையின் விட்டம் 60 மிமீ. பாயுவீதம் என்ன ?

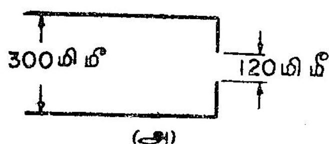
4·20. 2 மீ × 3 மீ வெட்டுப் பரப்புள்ள ஒரு தொட்டியினுள் நீர் 15 லி/வி என்ற வீதத்தில் விழுகிறது. அத்தொட்டியில் நீரின் ஆழம் 4 மீ. அத்தொட்டியின் அடியிலுள்ள 50 மிமீ துளையின் வழி நீர் வெளிப்படுமானால், தொட்டியில் நீரின் ஆழம் அதிகரிக்குமா அல்லது குறையுமா? $C_d = 0·62$.

4·21. ஒரு தகட்டில் 20 மிமீ துளைகள் மையத்திற்கு மையம் 60 மிமீ தூரத்தில் இடப்பட்டுள்ளன. இந்தத் தகட்டின் இரு புறங்களிலுமுள்ள அழுத்த வேறுபாடு 0·3 கிகௌ/செமீ² (30 நி/மீ²) ஆக இருக்குமானால், அலகு பரப்புள்ள தகட்டின் வழி பாயும் நீரின் வீதம் என்ன ?

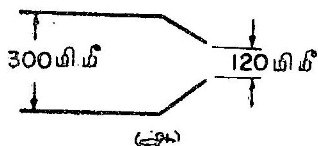
4·22. ஒரு கூரிய விளிம்புகளையுடைய துளையிலிருந்து வெளி வரும் தாரையில் குறுக்கம் ஏற்படக் காரணம் என்ன ?

4·23. ஒரு பெரிய தொட்டியிலிருந்து அதன் சுவற்றிலுள்ள 60 மிமீ விட்டத் துளையின் வழியாக 0·78 ஒப்பு அடர்த்தி யுள்ள எண்ணெய் 6·6 லி/வி பாயுவிதத்தில் வெளிப் படுகிறது. துளையில் தொழிற்படும் தலைப்பு என்ன ?

4·24. 300 மிமீ சதுரக் காற்று கடத்தியின் முடிவில் படத்தி லுள்ளபடி ஒரு சீரல் இருக்கிறது. இரண்டுவித அமைப்புகளிலும் 1·5 கிவா திறன் தேவைப்படுமானால்,



(அ)



(ஆ)

30°C வெப்பநிலையில் காற்றை எந்த அமைப்பு அதிக மாகக் கடத்தும்? அவற்றின் பாயுவீதங்களின் விகிதம் என்ன ?

4·25. ஒரு பெரிய நீண்ட சதுரத் துளையில் (large rectangular orifice) தொழிற்படும் தலைப்பு 2 மீ. துளையின் ஆழம் 0·3 மீ. துளையிலிருந்து பாயுவீதம் 1 மீ³/வி-ஆக இருக்க வேண்டுமானால், துளையின் அகலம் என்ன? $C_d = 0{\cdot}61$.

4·26. ஒரு பெரிய வட்டத் துளையின் வழியாகப் பாயும் நீரின் வீதத்திற்கு ஒரு சமன்பாட்டை வருவி.

4·27. ஒரு பெரிய நீர்ப்பாசன ஏரியில் 100·00, 99·00 மட்டங்களுக்கிடையில் கனஅளவு 5000 மீ³ ஆகும். இந்த அளவு நீரை 48 மணி நேரத்தில் 95·0 மட்டத்திலுள்ள 0·3 மீ விட்டத் துளைகளின் வழியாக வடிக்க வேண்டுமானால், எத்தனை துளைகள் வேண்டும்? $C_d = 0{\cdot}6$.

4·28. 3·0 மீ சீரான பரப்புள்ள தொட்டியின் ஒரு பக்கத்தில் அடியிலிருந்து 6·0 மீ, 1·5 மீ உயரங்களில் 9·0 ச.செமீ பரப்புள்ள இரண்டு துளைகள் உள்ளன. தொட்டியில் நீரின் ஆழம் 9 மீ-லிருந்து 4 மீ-க்குக் குறைய எவ்வளவு நேரமாகும்? $C_d = 0{\cdot}625$.

4·29. 1·8 மீ விட்டம் 9·0 மீ நீளமுள்ள ஒரு கொதிகலன் கிடையாக இருக்கிறது. அதன் அடியில் 75 மிமீ விட்டமுள்ள வாயருகு கருவி பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. அக் கருவியின் திசைவேகக் கெழு 0·8 ஆனால், அந்தக் கொதிகலனில் இருக்கும் பாதியளவு நீரை வடிக்க எவ்வளவு நேரமாகும்?

4·30. ஒருகன பரவளைவிலிருக்கும் (paraboloid) நீரை அதன் அடியிலுள்ள துளையின் மூலம் முழுவதும் வடிக்க எவ்வளவு நேரமாகும்?

4·31. 0·2 மீ விட்டமுள்ள அரை கோளப் பாத்திரத்தில் நீர் முழுவதும் உள்ளது. அதிலுள்ள நீரை முழுவதும் 3 நிமிடங்களில் வடிக்க என்ன விட்டமுள்ள துளை தேவை? $C_d = 0{\cdot}62$.

4·32. 2·5 மீ விட்டம், 10 மீ நீளமுள்ள ஒரு உருளை வடிவான எண்ணெய்த் தொட்டி சரிபாதியாக 2·5 மீ விட்டமுள்ள தகட்டால் பிரிக்கப்பட்டிருக்கிறது. அப்பிரிக்கும் தகட்டில் 100 மிமீ விட்டமுள்ள வால்வு அடியிலிருந்து 150 மிமீ உயரத்திலிருக்கிறது. ஒரு பக்கத்தில் எண்ணெயின்

ஆழம் 2 மீ ; மற்ெறாரு பக்கத்தில் 1 மீ. இரு பக்கங்களிலுமுள்ள ஆழ வேறுபாட்டைப் பாதியாகக் குறைக்க வேண்டுமானால், அந்த வால்வை முழுவதும் திறந்து எவ்வளவு நேரம் வைத்திருக்கவேண்டும் ? $C_d = 0{\cdot}56$.

4·33. செங்குத்தான சுவர்களையுடைய தொட்டியின் அடியில் 40 மிமீ விட்டமுள்ள துளை இருக்கிறது. இந்தத் தொட்டியினுள் நீரானது சீரான அளவில் விழுந்து கொண்டிருக்கிறது. அதே சமயத்தில் துளையின் வழியாக நீர் வெளிச் சென்று கொண்டேயிருக்கிறது. அந்தத் தொட்டியில் நீரின் ஆழம் 0·5 மீ-லிருந்து 0·6 மீ உயர 100 விநாடிகளும், 1 மீ-லிருந்து 1·15 மீ உயர 130 விநாடிகளும் ஆகுமானால், தொட்டியினுள் விழும் நீரின் பாயுவீதத்தையும், தொட்டியில் வெட்டுப் பரப்பையும் காண்.

4·34. 0·6 மீ விட்டம் 1·8 மீ நீளமுள்ள உருளை வடிவான தொட்டி அதன் அச்சில் செங்குத்தாக இருக்கிறது. அதன் அடியில் 50 மிமீ விட்டமுள்ள ஒரு துளை ($C_d = 0{\cdot}60$) இருக்கிறது. அந்தத் தொட்டி காலியாக இருக்கும்போது 800 லி/நிமிடம் என்ற விதத்தில் நீர் தொட்டியினுள்விழுகிறது. அத்தொட்டி முழுவதும் நிறைய எவ்வளவு நேரமாகும் ? இந்தக் காலத்தில் அடியிலுள்ள துளையின் வழி வெளி செல்லும் நீரின் கன அளவு என்ன ?

4·35. ரெயினால்ஸ் எண்ணிற்கும் துளையின் பாயுவிதக் கெழுவுக்குமுள்ள தொடர்பை விளக்குக. 100 மிமீ குழாயின் முடிவிலுள்ள 30 மிமீ துளையின் வழியாக 0·4 சென்டிபாய்ஸ் இயக்கவிசைப் பாகுநிலை எண்ணெய் பாய்கிறது. R-ன் மதிப்பு துளையில் 2500-ஆக இருக்கும் போது பாயுவீதமென்ன ?

4·36. 150 மிமீ விட்டமுள்ள குழாயின் முடிவில் 60 மிமீ விட்டமுள்ள துளை இருக்கிறது. அந்தக் குழாயின் வழி 27 லி/வி அளவிற்கு நீர் வெளிமண்டலத்தில் பாயுமானால், துளைக்குமுன் அழுத்தம் என்ன ?

4·37. 100 மிமீ விட்டக் குழாயில் 70 மிமீ விட்டமுள்ள முனைமானி (nozzlemeter) பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. அதன் வழி 0·8 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள எண்ணெய் பாய்கிறது. அந்த முனையினால் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடு ஒரு

பாதரச-எண்ணெய் U-குழாயில் 100 மிமீ பாதரச உயரத்தை உண்டாக்குகிறது. எண்ணெயின் பாயுவீத மென்ன ? $C_d = 0{\cdot}7$.

4·38. ஒரு பெரிய தொட்டியில் பொருத்தப்பட்டுள்ள 100 மிமீ விட்ட வெளிப்புற வாயருகு கருவியில் 4 மீ தலைப்பு தொழிற்படும் போது, அக்கருவியின் வழி பாயுவீத மென்ன ?

4·39. நீரியற் ஆய்வுக்கூடத்திலுள்ள ஒரு நீர்க்காலில் (flume) மதகுக் கதவிற்கு (sluice gate) முன் நீரின் ஆழம் 1 மீ. மதகு தளத்திலிருந்து 0·1 மீ திறந்திருக்கிறது. 0·6 மீ அகலமுள்ள அந்த நீர்க்காலின் மதகின்வழி பாயும் நீரின் அளவு வீதம் என்ன ? மதகிற்குப் பின்புறம் நீரின் ஆழம் 0·5 இருக்குமானுல் பாயுவீதம் என்ன ?

4·40. 20 மிமீ விட்டமும் 10 மீ/வி திசைவேகமும் உள்ள ஒரு கிடைத்தாரை (அ) ஒரு செங்குத்தான தகட்டைத் தாக்குகிறது. (ஆ) தாரைக்கு 30° சாய்ந்துள்ள தகட்டைத் தாக்குகிறது. தகட்டில் நேர்குத்தாகத் தொழிற்படும் விசை என்ன ?

4·41. ஒரு வளைந்த தளமானது 30 மிமீ சதுரத் தாரையை 45° கோண அளவு திசை திருப்புகிறது. தாரையானது 0·85 ஒப்பு அடர்த்தியுடைய எண்ணெயிலானது. அதன் நுழைவு திசைவேகத்தின்(inlet velocity) மதிப்பு 1·5 மீ/வி யாக இருக்குமானுல், உராய்வைப் புறக்கணித்துவிட்டு, அத்தாரையின் திசையிலும் அதற்கு நேர்குத்துத் திசையிலும் விசைகளைக் காண்.

4·42. ஒரு நீர்த்தாரை AB திசையில் 6 மீ/வி வேகத்தில் வெளி வருகிறது. அது BC திசையில் 3 மீ/வி வேகத்தில் தொடர்வாக நகர்ந்து கொண்டிருக்கும் வரிசையான பல தகடுகளைத் தாக்குகிறது. AB-க்கும் CB-க்கும் இடையே உள்ள கோணம் 30°. அந்தத் தாரை 0·3 மீ அகலம், 2·54 செமீ கனம் உள்ளது. (அ) தகடுகளில் தொழிற்படும் வினை, (ஆ) தடையின்றி தகட்டில் தாரை நுழையத் தேவையான நுழைவு கோணம்(inlet angle), (இ) தாரையானது ஆரத் திசையில் வெளிவரத் தேவையான வெளிக் கோணம் (outlet angle) முதலியவற்றைக் கணக்கிடு.

4·43. வளைந்த தளம் நிலையாக இருக்கும்போது, அது நீர்த் தாரை 30° திசை திரும்பச் செய்கிறது. இந்தத் தளம் தாரையின் திசையில் 7 மீ/வி வேகத்தில் நகரும்போது, 0·5 மீ^{3}/வி பாயுவீதமுள்ள ஒரு தாரை அத்தளத்தைத் தொடுகோட்டுத் திசையில் 40 மீ/வி வேகத்தில் தாக்கு கிறது. இப்போது இந்தத் தாரை அத்தளத்தால் உண்மையில் எந்த அளவிற்குத் திசை பெயர்க்கப் படுகிறது? தளம் நகரும் திசையில் ஏற்படும் விசை என்ன?

4·44. வளைந்த தகடுகளையுடைய சக்கரத்தில் நீர் உள்நோக்கிப் பாய்கிறது. அச்சக்கரத்தின் வெளி, உள் விட்டங்கள் முறையே 1 மீ, 0·5 மீ ஆகும். நீரானது வெளிவட்டத் தில் தொடுகோட்டிற்கு 30° சாய்வில் 4 மீ/வி திசை வேகத்தில் நுழைந்து, 3 மீ/வி திசைவேகத்தில் உள் வட்டத்தின் தொடுகோட்டிற்கு 120° சாய்வில் வெளி வருகிறது. உள், வெளி திசைவேகக் கோணங்களை வரைந்து, அச்சக்கரம் நிமிடத்திற்கு 300 சுற்றுகள் சுற்று மானுல், தகட்டில் நுழைவு, வெளிக் கோணங்களைக் கணக்கிடு.

4·45. a_1, a_2 பரப்புள்ளதும், V_1, V_2 திசைவேகங்களை யுடையதுமான இரண்டு தாரைகள் ஒன்றையொன்று θ கோணத்தில் சந்தித்துப் பின்னர் ஒரே தாரையாகின் றன. இவ்வாறு ஏற்படும் தாரையின் திசைவேக மதிப்பு, திசை இவற்றைக் கணக்கிடு. ஆற்றலிழப்பு எவ்வளவு?

4·46. 0·5 கிகி எடையுடைய ஒரு விளையாட்டு ராக்கெட் (rocket) 0·001 கிகி/செமீ^{3} வாயுவால் இயக்கப் படுகிறது. அந்த வாயு ராக்கெட்டின் அடியிலுள்ள 1 செமீ^{2} துளையின் வழியாக 400 மீ/வி வேகத்தில் வெளி வந்தால், தொடக்க முடுக்கம் என்ன?

4·47. ஒரு ஜெட் விமானம் 1000 கிமீ/மணி வேகத்தில் செல் கிறது. அதற்கு 50 செமீ விட்டமுள்ள இரண்டு துளைகள் இருக்கின்றன. விமானத்திலிருந்து வெளிவரும் தாரை களின் தனித் திசைவேகம் 600 கிமீ/மணி; வெளிவரும் வாயுவின் எடை 20 கிகி/வி ஆகும். இப்போது (அ) தள்ளுவிசை, (ஆ) தள்ளுதிறம், (இ) தள்ளு பரி திறன் இவற்றைக் கணக்கிடு.

4·48. தாரையால் உந்தப்படும் ஒரு படகின் தள்ளுவிசை (propulsive force) கீழ்க்கண்ட புள்ளி விபரங்களுக்குக் கணக்கிடு: நீரின் பாயுவீதம் 0·5 மீ^{3}/வி; தாரை வெளி வரும் துளையின் பரப்பு 10 செமீ^{2}; படகின் வேகம் 4 மீ/வி. தாரையின் $C_c = 0.62$.

4·49. கடலில் 15 மீ/வி வேகத்தில் செல்லும் ஒரு படகின் தள்ளுசுழலி (propeller) 0·5 மீ விட்டமுள்ளது. அது 0·5 மீ/வி பாயுவீதத்தைக் கடக்கிறது. படகின் அடிப் பாகத்தில் ஏற்படும் விளைவுகளைப் புறக்கணித்துவிட்டு படகில் ஏற்படும் (அ) தள்ளுவிசை, (ஆ) கொள்கை அள வான தள்ளுதிறம், (இ) தள்ளுசுழலிக்குக் கொடுக்கப்படும் திறன் இவற்றைக் கணக்கிடு.

4·50. ஒரு நீர்மின்நிலையத்திற்கு (hydroelectric station) நீரைக் கடத்தி செல்லும் குழாய் (3 மீ விட்டம்) செங்குத்துத் தளத்தில் 30° கோணத்தில் வளைகிறது. இந்த வளைவை (bend) நிலையாக இருக்கச் செய்ய தேவையான கான்கிரீட்டின் எடை என்ன? வளைவு வழி பாயும் நீரின் வீதம் 20 மீ/வி. அதிலுள்ள தலைப்பு 100 மீ நீர் உயரம்.

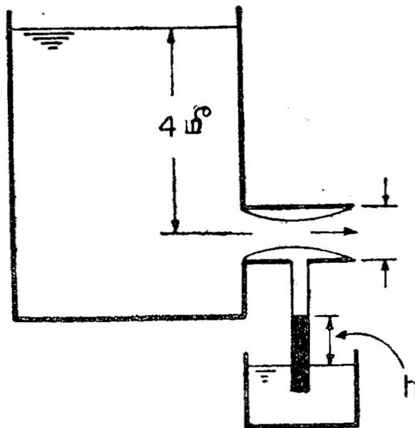
4·51. ஒப்பு அடர்த்தி 0·85 உள்ள எண்ணெயைக் கடத்திச் செல்லும் 0·5 மீ விட்டக் குழாய் 0·3 மீ குழாயுடன் ஒரு குறைவால் (reducer) இணைக்கப்பட்டுள்ளது. குழாயின் வழி 1 மீ^{3}/வி பாயுவீதத்தில் எண்ணெய் பாய்ந்தால், அந்தக் குறைவில் ஏற்படும் விசை என்ன? பெரிய பக்கத்திலுள்ள அழுத்தம் 3 கிகி/செமீ^{2} ஆகும்.

4·52 100 மிமீ விட்டமுள்ள குழாய் திடீரென்று 150 மிமீ விட்டத்திற்குப் பெரியதாகிறது. 20 லி/வி நீரைக் கடத் தும் போது, இத் திடீர் மாறுதலால் ஏற்படும் இழப்பை பாய்ம உயரத்தில் கணக்கிடு.

4·53. கணக்கு 4·52-ல் பாய்மம் மாறுதிசையில் பாயுமானால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு என்ன?

4·54. ஒரு சிறிய 90° வளைவு 100 மிமீ விட்டக் குழாயில் பொருத்தப்பட்டுள்ளது. அதில் பாயும் நீரின் திசை வேகம் 5 மீ/வி என்றால் அவ்வளைவு இணைப்பில் உண்டா கும் விசை என்ன?

4·55. படத்திலுள்ள புற வாயருகு கருவியின் தாரைக் குறுக்

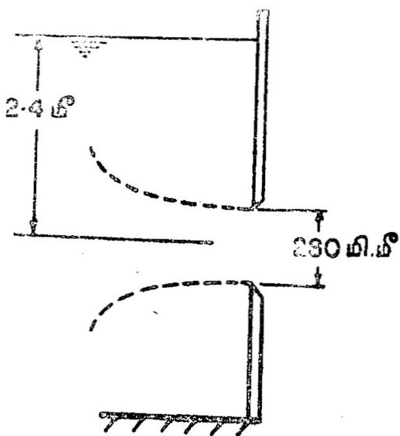


கத்தில் பொருத்தப்பட்டுள்ள குழாயில் நீர் எவ்வளவு உயரும் ?

4·56. ஒரு துளையின் வெளிப்புறத்தில் புறவாயருகு கருவியைப் பொருத்துவதால் ஏற்படும் பாயுவீத அதிகரிப்பைச் சத வீதத்தில் கணக்கிடு.

4·57. தாரை முழுமையாக வெளிவரும் ஒரு போர்டா வாயருகு கருவியில், அவ்வாறு தாரை முழுமையாக வெளிவராத வாயருகு கருவியைவிடப் பாயுவீதம் 40 சதவீதம் அதிகமாக இருக்குமென நிரூபி.

4·58. ஒரு தொட்டியின் சுவற்றிலுள்ள 250 மிமீ உயர நீண்ட சதுரத் துளையிலிருந்து 2·4 மீ தலைப்பில் நீர் வெளிவருகிறது. அதன் உட்புறத்தில் படத்திலுள்ளபடி உதவும் தகடு (guide vane) பொருத்தப்பட்டால், அதனல் (அ) தாரைத்



திசைவேகம் (ஆ) பாயுவீதம் முதலியவற்றில் ஏற்படும் சதவீத மாற்றம் என்ன ?

4·59. ஒரு குவிந்து விரியும் புறவாயருகு கருவியின் வெளிப் பரப்பு தொண்டையின் பரப்பைவிட இரண்டு மடங் காகும். அந்த வாயருகு கருவியில் 2 மீ தலைப்பில் நீர் தொழிற்படுகிறது. உராய்வால் ஏற்படும் இழப்புகளைப் புறக்கணித்து விட்டு (அ) தொண்டையில் அழுத்தம், (ஆ) தொண்டையில் திசைவேகம் முதலியவற்றைக் காண். வாயருகு கருவியில் மொத்த இழப்பு 100 மிமீ நீர் உயரமாகும்.

4·60. ஒரு விரிந்த வாயருகு கருவி (divergent mouthpiece) நன்முக வளைத்துவிடப்பட்ட நுழைவாயிலையுடைய துளை யில் பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. இதனால் துளை வழி வெளிவரும் நீரின் பாயுவீதம் இரட்டிப்பாகிறது. துளை யின் விட்டம் 40 மிமீ ஆகும். $C_c = 1{\cdot}00$, $C_v = 0{\cdot}92$. துளை யின் மத்தியிலிருந்து நீரின் உயரம் 3 மீ. $C_v = 0{\cdot}85$-ஆக இருக்குமானால் வாயருகு கருவியின் வெளி விட்டத்தைக் காண். வாயருகு கருவியின் நுழைவாயிலில் அழுத்தம் என்ன ?

4·61. தாரையிலிருந்து 10 மீ உயரத்திலுள்ள ஒரு குழாய் முனை (nozzle) யிலிருந்து நீரானது 30 மீ/வி வேகத்தில் வெளி வருகிறது. இந்த முனையின் சாய்வை மாற்றினால், அதிலிருந்து வெளிவரும் தாரை எந்த அளவிற்கு உச்ச கிடைத் தூரத்தை தரையில் அடையும்.

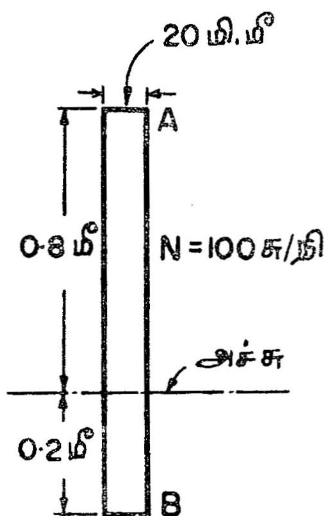
4·62. 40 மிமீ விட்டமுள்ள முனையிலிருந்து வெளிவரும் ஒரு நீர்த் தாரை செங்குத்தாக மேல்நோக்கி இயக்கப்படு கிறது. இந்தத் தாரை வட்டவடிமாக இருப்பதாகக் கொண்டு இழப்புகளைப் புறக்கணித்து விட்டு, அந்த முனையிலிருந்து 5 மீ உயரத்தில் தாரையின் விட்டத்தைக் கணக்கிடு. அத்தாரை முனையை விட்டு 15 மீ/வி வேகத் தில் வெளிவருகிறது.

4·63. ஒரு சரிவு வழிகாலிலிருந்து (hute spillway) நீரானது 45° சாய்வில் 20 மீ/வி வேகத்தில் வெளியேறுகிறது. நீரானது அந்த வழிகாலிலிருந்து எவ்வளவு கிடைத் தூரத்தில் தரையிற்படும் ?

4·64. சுரங்க வேலைக்கு நீர்த்தாரையைப் பயன்படுத்தலாம். சுரங்கம் தோண்ட 1 டன் விசை தேவைப்படுகிறது. நீர்த்தாரையின் விட்டம் 60 மிமீ என்றால், அதன் திசை வேகம் என்ன? (காற்றுத் தடையைப் புறக்கணிக்க.)

4·65. 0·4 மீ விட்டம் 0·8 மீ உயரமுள்ள ஒரு உருளைப் பாத்திரத்தில் ஒப்பு அடர்த்தி 0·9 உள்ள எண்ணெய் பாதியளவு நிரப்பப்பட்டு மீதமுள்ள பாதியளவில் 8 கிகிஎ/செமீ^{2} அழுத்தத்தில் காற்று புகுத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்த உருளை அதன் அச்சில் எந்த வேகத்தில் சுற்றப்பட்டால், அவ்வுருளையின் அடிப்பாகத்தின் மத்தியில் எண்ணெய் இல்லாமல் இருக்கும்?

4·66. 120 மிமீ விட்டம், 0·3 மீ ஆழமுள்ள ஒரு உருளைப் பாத்திரத்தில் முழுவதும் நீர் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. அதை நிமிடத்திற்கு 200 சுற்றுகள் சுற்றினால், எந்தக் கனஅளவு நீர் வெளியிற் சிந்தும்?



4·67. படத்திலுள்ள 20 மிமீ விட்டம் 1 மீ நீளமுள்ள உருளையில் 1·6 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள கிளிசரின் (glycerine) நிரப்பப்பட்டுள்ளது. அந்த உருளையை அதன் ஒரு பக்கத்திலிருந்து 0·2 மீ தூரத்திலுள்ள அச்சில் நிமிடத்திற்கு 100 சுற்றுகள் சுற்றினால், A, B என்ற புள்ளிகளில் ஏற்படும் அதிகப்படியான அழுத்தங்கள் என்ன?

4·68. நீர் நிரம்பிய ஒரு டம்ளரை செங்குத்துத் தளத்தில் நீர் சிந்தாதபடி சுழற்ற முடியும். அவ்வாறு சுழற்றும் வட்டத்தின் விட்டம் 1 மீ என எடுத்துக்கொண்டு ஒரு முழுச் சுற்றில் நீர் வழியாமல் இருக்க வேண்டுமானால், ஒரு விநாடிக்கு எத்தனை சுற்றுகள் சுற்றவேண்டும்?

4·69. r ஆரமும் h உயரமும் உள்ள ஒரு உருளையில் முழுவதும் நீர் நிரப்பப்பட்டு, அதன் மேற்பாகமும் நன்கு மூடப் பட்டுள்ளது. அதன் மைய அச்சில் அவ்வுருளை சுற்றப் படும்போது, அந்த உருளையின் அடித்தளத்தில் மேற் தளத்தைவிட n மடங்கு விசை ஏற்படுமானல், கோணத் திசைவேகமானது

$$\sqrt{\frac{4gh}{r^2(n-1)}}$$

என நிரூபி.

4·70. 60° கோணத்தை முனையில் தாங்கும் ஒரு கூம்பில் 1·5 மீ உயரத்திற்கு அதன் கனபருமனில் பாதியளவிற்கு நீர் நிரம்பியிருக்கிறது. இந்தக் கூம்பு அதன் மைய அச்சில் எந்தப் பெரும வேகத்தில் சுற்றப்பட்டால் நீர் வெளியில் வழியாது ?

4·71. 0·5 மீ விட்டமுள்ள ஒரு மையவிலக்கு பம்பின் இயக்கி (impeller) ஒரு நிமிடத்திற்கு 1440 சுற்றுகள் சுற்றுகிறது. அது உண்டாக்கும் அழுத்தத் தலைப்பு என்ன ?

5. இலட்சிய பாய்ம ஓட்டம்

5·1. முன்னுரை

இந்த அத்தியாயத்தில் பாகுநிலையற்றதும், பரப்பு இழுவிசையற்றதும், அமுக்கமற்றதுமான ஒரு கற்பனைப் பாய்மத்தின் ஓட்டங்களைப்பற்றி படிப்போம். இந்தப் பாய்மம் திரவமாக இருக்குமானல், இதற்கு ஆவியழுத்தம் கிடையாது என எடுத்துக் கொள்வோம். இத்தன்மைத்தான பாய்மத்திற்கு இலட்சிய பாய்மம் எனப் பெயர். மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங்கள் சில இடங்களில் இலட்சிய பாய்ம ஓட்டத்தின் தன்மைகளை உடையதாக இருப்பதாலும், இலட்சிய பாய்ம ஓட்டம் பற்றி கணித அடிப்படையில் எளிதாகப் பகுத்தாய்தல் சாத்தியமாதலாலும், இலட்சிய பாய்ம ஓட்டம், பாய்ம எந்திரவியலின் ஒரு பயனுள்ள பிரிவாகக் கருதப் படுகிறது. மெய்ப் பாய்ம ஓட்டமானது எல்லையோரங்களைத் தவிர இலட்சிய பாய்ம ஓட்டத்தின் தன்மைகளை ஒத்திருக்குமென அத்தியாயம் 8-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

இந்த அத்தியாயத்தில் சில குறிப்பிட்ட இருபரிமாண, நிலையான ஓட்டங்களைப்பற்றி மட்டும் படிப்போம். இலட்சிய பாய்ம ஓட்டத்தின் பயன்கள் இந்த அத்தியாயத்தின் இறுதியில் சில எடுத்துக்காட்டுகளால் விளக்கப்பட்டுள்ளன.

5·2. சீரான ஓட்டம் (Uniform Flow)

ஒரு இருபரிமாண, சீரான, நிலையான ஓட்டத்தின் திசைவேகம் x-அச்சிற்கு இணையாக $V_{\circ}$-ஆக இருக்கட்டும். இந்த ஓட்டத்திற்கான இழை, அழுத்தச் சார்புகளை (stream and potential functions) சமன்பாடுகள் 3·15, 3·17-லிருந்து அடையலாம். x-திசையில் திசைவேகத்தின் கூறுனது,

$$u = V_{\circ} = + \frac{\partial \psi}{\partial y} = - \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

இவற்றைத் தொகையிட்டால்,

$$\psi = +V_0 y + C$$
$$\phi = -V_0 x + C'$$

தொகுயிடுதலில் ஏற்படும் மாறிலிகளை ψ-ஐ x-அச்சிலிருந்தும், ϕ-ஐ y-அச்சிலிருந்தும் அளத்தலால் சுழியாக்கலாம். எனவே, x-அச்சிற்கு இணையாக உள்ள கோடுகள் இழைக் கோடுகளாகவும், y-அச்சிற்கு இணையாக உள்ள கோடுகள் அழுத்தக் கோடுகளாகவும் இருக்கும். ஆகவே, x-அச்சிற்கு இணையாகப் பாயும் V_0 திசைவேக முள்ள சீரான ஓட்டத்திற்கு

$$\psi = V_0 y$$
$$\phi = -V_0 x \qquad (5\cdot1)$$

5·3. ஊற்றுகளும் ஆழ்புழைகளும் (Sources and Sinks)

ஊற்றுகளும், ஆழ்புழைகளும் கணித அடிப்படையிலான கற்பனைக் கருத்துக்களே. ஒரு புள்ளி அல்லது ஒரு கோட்டிலிருந்து பாய்மம் வெளிவந்து எல்லாத் திசைகளிலும் சீராகப் பாயும் அமைப்பிற்கு ஊற்று எனப் பெயர். அதே போல் எல்லாத் திசை களிலிருந்தும் சீராகப் பாய்ந்து பாய்மமானது ஒரு புள்ளி அல்லது ஒரு கோட்டில் மறையுமானுல் அதற்கு ஆழ்புழை எனப் பெயர்.

ஒரு இருபரிமாண நேர்கோடு அமைப்புள்ள ஊற்று அல்லது ஆழ்புழையை எடுத்துக் கொள்வோம். அந்த ஊற்று அல்லது ஆழ்புழை இந்தக் காகிதத்திற்கு நேர்குத்தாகத் தேக்காட்டின் ஆயக்கூறுகள அமைப்பின் (Cartesian coordinate system) மத்தியில் இருக்கட்டும். ஊற்றிலிருந்து வரும் பாயுவீதம் அல்லது ஆழ் புழையை நோக்கியுள்ள பாயுவீதம் ஒரு மீட்டர் நீளத்திற்கு Q-ஆக இருக்கட்டும். ஊற்றை நேர்குறியாலும், ஆழ்புழையை எதிர் குறியாலும் குறிக்கிறேம். இப்போது ஆரத் திசையிலான திசை வேகம்,

$$v_r = \pm \frac{Q}{2\pi r} = -\frac{d\phi}{dr} = \frac{1}{r}\,\frac{d\psi}{d\theta}$$

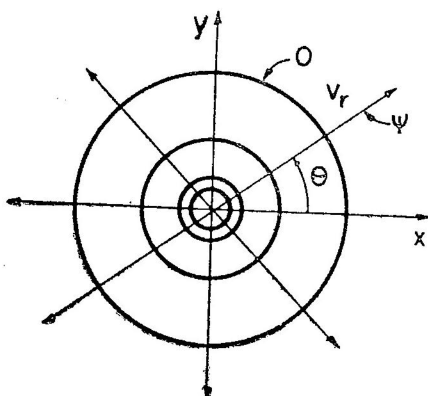
இதில் தொடுகோட்டுத் திசைவேகமான $v_\theta = 0$ ஆகும்.

இப்போது ϕ, ψ என்பவைகள் v_r-ஐமட்டும் சார்ந்திருப்பதால் தொகையிடும்போது,

$$\phi = \mp \frac{Q}{2\pi} \log_e r + C$$

$$\psi = \pm \frac{Q}{2\pi}\theta + C'$$

இதில் θ என்பது துருவ கோண (polar angle) மாகும். இது x-அச்சிலிருந்து இடம்புரியாக அளக்கப்படுகிறது. $+\frac{Q}{2\pi}$ என்பது ஊற்றின் வலிமையையும், $-\frac{Q}{2\pi}$ என்பது ஆழ்புழையின் வலிமையையும் குறிக்கும். மேலேயுள்ள சமன்பாடுகளில் தொகையீட்டால் ஏற்பட்ட மாறிலிகளை $\psi=0$, $\theta=0°$; $\phi=0$, $r=1$ என்ற எல்லை நிபந்தனைகளால் சுழியாக்கலாம். இப்போது



படம் 5·1. ஒரு ஊற்று

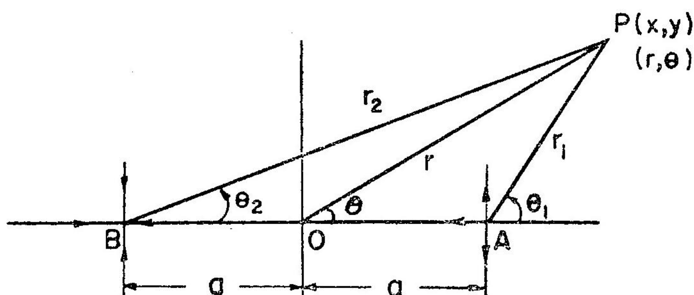
$$\phi=\mp\frac{Q}{2\pi}\log_e r$$

$$\psi=\pm\frac{Q}{2\pi}\theta \qquad (5{\cdot}2)$$

படம் 5·1-ல் ஒரு ஊற்றின் அமைப்பு காட்டப்பட்டுள்ளது. அதில் ϕ, ψ சார்புகளும் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

5·4. 2a தூரத்தில் ஊற்றும் ஆழ்புழையும்

மையத்திலிருந்து x-அச்சில் (a, o) என்ற இடத்தில் ஒரு ஊற்றும் (—a, o) என்ற இடத்தில் ஒரு ஆழ்புழையும் படம் 5·2-ல் உள்ளபடி இருப்பதாக எடுத்துக்கொள்வோம், இரண்டும் ஒரே வலிமையுடையனவாக இருக்குமானல், ஊற்றிலிருந்து வெளிவரும்



படம் 5·2. ஊற்று-ஆழ்புழை அமைப்பு

பாய்மம் ஆழ்புழையை அடைந்து மறையும். இந்த அமைப்பின் அழுத்த, இழைச் சார்புகளாவன :

$$\phi = -\frac{Q}{2\pi}\log_e r_1 + \frac{Q}{2\pi}\log_e r_2$$

$$= \frac{Q}{2\pi}\log_e \frac{r_2}{r_1}$$

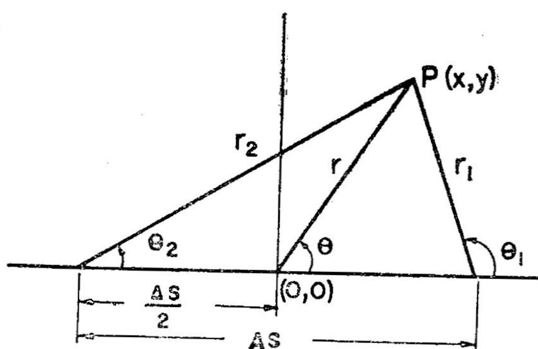
$$= \frac{Q}{2\pi}\log_e \frac{(x+a)^2+y^2}{(x-a)^2+y^2} \qquad (5\cdot3\text{-அ})$$

$$\psi = \frac{Q}{2\pi}(\theta_1-\theta_2) \qquad (5\cdot3\text{-ஆ})$$

5·5. இருமடி (Doublet)

ஒரே வலிமையுள்ள ஒரு ஊற்றும், ஒரு ஆழ்புழையும் ஒன்றையொன்று நோக்கி, அவற்றிடையேயுள்ள தூரம், வலிமை ஆகியவற்றின் பெருக்குத் தொகை சமமாக இருக்கும்படி நகர்ந்து வந்து ஒரு புள்ளியில் இருக்குமானல் அதற்கு இருமடி எனப் பெயர்.

$\triangle s\to 0$ ஆகும்போது $Q\to\infty$ ஆகும். ஆனல் $\underset{\triangle s\to 0}{\text{எல்லை}}\ \triangle s\times Q=C$ ஆக இருக்கவேண்டும். இதில் C என்பது இருமடியின் வலிமையைக் குறிக்கும். இப்போது இருமடியின் அழுத்தச் சார்பானது,



படம் 5·3. ஒரு இருமடி

$$\phi = -\frac{Q}{2\pi}\log_e r_1 + \frac{Q}{2\pi}\log_e r_2$$

$$= \frac{Q}{2\pi}\log_e \frac{r_2}{r_1} = \frac{Q}{2\pi}\log_e\left(1+\frac{r_2-r_1}{r_1}\right)$$

ஆனுல் $$r_2-r_1 \backsimeq \triangle s \cos\theta$$

$$\therefore \phi=\frac{Q}{2\pi}\log_e\left(1+\frac{\triangle s\cos\theta}{r_1}\right)$$

$\triangle s\to 0$ ஆகும் போது $r_2\to r_1$ ஆகிறது. மேலும் $\triangle s\times Q\to C$ ஆகும். எனவே,

$$\underset{\triangle s\to 0}{\text{எல்லே}}\ \frac{Q}{2\pi}\log_e\left(1+\frac{\triangle s\cos\theta}{r_1}\right)=\underset{\triangle s\to 0}{\text{எல்லே}}\ \frac{1}{2\pi}\ \frac{Q\ \triangle s\cos\theta}{r_1}$$

$$=\frac{C\cos\theta}{2\pi r}$$

இப்போது $\cos\theta=\frac{X}{r}$

ஆகவே,

$$\phi=\frac{Cx}{2\pi r}=\frac{C}{2\pi}\frac{x}{x^2+y^2} \qquad (5\cdot 4\text{-அ})$$

இதேபோல் இழைச் சார்பானது,

$$\psi=\frac{Q}{2\pi}(\theta_1-\theta_2)\backsimeq-\frac{Q}{2\pi}\ \frac{\triangle s\sin\theta}{r_1}$$

$\triangle s\to 0$ ஆகும்போது, $Q\times\triangle s\to C$ ஆகும். எனவே,

$$\psi=-\frac{C\sin\theta}{2\pi r}=-\frac{Cy}{2\pi r^2}$$

$$\therefore\ \psi=-\frac{C}{2\pi}\ \frac{y}{x^2+y^2} \qquad (5\cdot 4.\ \text{ஆ})$$

5·6. சீரான ஓட்டத்தில் ஒரு ஊற்று (A Source in an Uniform Flow)

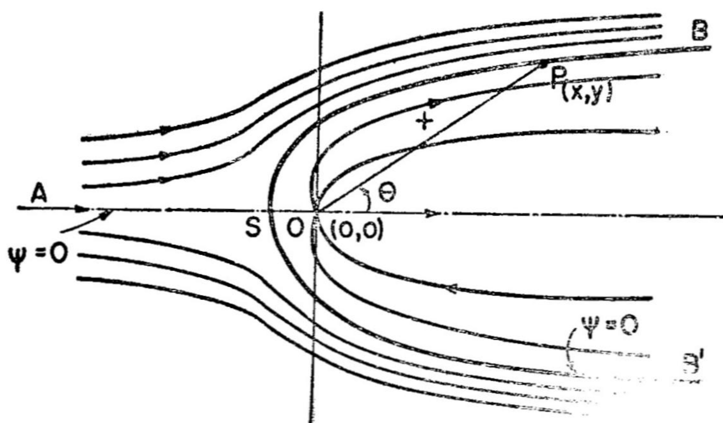
x-அச்சிற்கு இணையாகப் பாயும் V_o திசைவேகமுள்ள சீரான ஓட்டத்தில் (O, O) என்ற மையத்தில் Q பாயுவீதமுள்ள ஊற்று இருப்பதாக எடுத்துக் கொள்வோம். x-y தளத்தில் திசைவேக அழுத்தமானது (velocity potential) சீரான ஓட்டம், ஊற்று இவற்றின் கூட்டுத் தொகையாகும்.

$$\phi=-V_o x-\frac{Q}{2\pi}\log_e r \qquad (5\cdot 5\text{-அ})$$

இழைச் சார்பானது,

$$\psi=V_o y+\frac{Q}{2\pi}\theta \qquad (5\cdot 5\text{-ஆ})$$

படம் 5·4-லிருந்து ஊற்றிலிருந்து வெளிவரும் பாய்மமானது அதன் வலிமைக் கேற்ப சீரான பாய்ம ஓட்டத்திற்கு எதிராகச் செல்லும். ஆனால் ஊற்றின் வலிமை அதன் உற்பத்தி இடத்திலிருந்து எதிர்விகிதத்தில் குறைந்து வருவதால், எங்கு அதன்



படம் 5·4. பாதி உருவம்

திசைவேகமும், சீரான ஓட்டத்தின் திசைவேகமும் சமமாக இருக்குமோ, அங்கு பின்னால் திரும்பி விடுகிறது. அந்த நிலைமைக்கு வரும் புள்ளிக்கு தேக்கப் புள்ளி (stagnation point) S எனப்பெயர். ஊற்றிலிருந்து வெளிவரும் பாய்மம் BSB′ என்ற இழைக் கோட்டிற்குள்ளே பாயும். இந்த இழைக் கோட்டின் மதிப்பை நாம் சுழி எனக் கொள்ளலாம். BSB′ என்ற இழைக் கோட்டால் உண்டாகும் அமைப்பிற்கு பாதி உருவம் (half body) அல்லது ராங்கின் உருவம் (Rankine body) எனப் பெயர். சீரான ஓட்டத்தின் பாய்மம் இந்தப் பாதி உருவத்தின் வெளிப்புறமாகப் பாய்கிறது. இப்போது S என்ற புள்ளியின் இருப்பிடத்தைக் கணிப்போம்.

ராங்கின் உருவத்தின் மேற்புறத்தில் P(x,y) என்ற புள்ளியை எடுத்துக் கொள்வோம். P என்ற புள்ளியில் திசைவேகக் கூறுகள்

$$u = u_1 + u_2 = V_0 + \frac{Q}{2\pi}\ \frac{x}{x^2+y^2} = V_0 + \frac{Q}{2\pi r}\cos\theta$$

$$v = v_1 + v_2 = 0 + \frac{Q}{2\pi}\ \frac{y}{y^2+x^2} = +\frac{Q}{2\pi r}\sin\theta$$

$$\therefore V^2 = u^2 + v^2 = V_o{}^2 + \frac{Q^2}{4\pi r^2} + \frac{Q}{\pi r}\cos\theta$$

தேக்கப் புள்ளி S-ல், $\theta=\pi$, $OS=r_s$, $V=0$. எனவே,

$$0=V_\circ{}^2+\frac{Q^2}{4\pi r_s{}^2}-\frac{Q}{\pi r_s}$$

$$\therefore \left(V_\circ-\frac{Q}{2\pi r_s}\right)^2=0$$

$$\therefore \quad r_s=\frac{Q}{2\pi V_\circ} \qquad (5{\cdot}6)$$

S என்ற புள்ளியில் அழுத்தமானது தேக்க அழுத்தத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். $\theta=113^\circ$ ஆக இருக்கும்போது, அந்தப் பாதி உருவத்தின் மேற்புறத்தில் ஏற்படும் அழுத்தமானது நிலை அழுத்தத்திற்குச் சமமாக இருக்கும் என நிரூபிக்கலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 5·1. ஒரு குழாய் கிணற்றின் அமைப்பு படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஊடுருவும் தன்மையுள்ள ஒரே படித்தான படுகை (porous homogeneous strata) 30 மீ கனம் உள்ளது. அதற்கு மேலும், கீழும் ஊடுருவாத் தன்மையுள்ள படுகைகள் உள்ளன. நிலநீரின் திசைவேகம் 1 மீ/வி. அந்தக் குழாய் கிணற்றிலிருந்து 30 லிட்டர்/வி அளவிற்கு நீர் இறைக்கப் பட்டால், அந்தக் கிணற்றிற்கு 20 மீ கீழ்புறமுள்ள ஒரு தீட்டி லிருந்து (pollution) அசுத்தம் கிணற்று நீரில் வருமா எனக் கண்டுபிடி.

இந்தக் குழாய் கிணற்றை இரு பரிமாண ஆழ்புழையாகக் கருதலாம். எனவே, ஆழ்புழை ஒரு சீரான ஓட்டத்தில் இருப்பதாக எடுத்துக் கொள்ளலாம். XY என்ற கோட்டில் கிணறு W என்ற இடத்திலிருக்கிறது. தீட்டு P என்ற இடத்தில் PW=20 மீ தூரத்தில் இருக்கிறது. தேக்கப் புள்ளி S என்றால் PW என்ற தூரம் SW என்ற தூரத்தை விட அதிகமாக இருந்தால், தீட்டு கிணற்று நீரில் கலக்காது.

இப்போது SW=r ஆக இருக்கட்டும்.

$$\left.\begin{matrix}\text{ஆழ்புழையால் S என்ற இடத்திலுள்ள}\\ \text{திசைவேகம்}\end{matrix}\right\} = \frac{0{\cdot}03 \times 60 \times 60 \times 24}{2\pi \times r \times 30}$$

$$= \frac{13{\cdot}8}{r} \text{ மீ/நாள்}$$

S என்ற புள்ளியில் திசைவேகம் சுழியாக இருக்க வேண்டுமானுல் மேலே உள்ள திசைவேகம் சீரான ஓட்டத்தின் திசைவேகத்திற்குச் சமமாகவும் ஆனுல் எதிர்த் திசையிலும் இருக்க வேண்டும்.

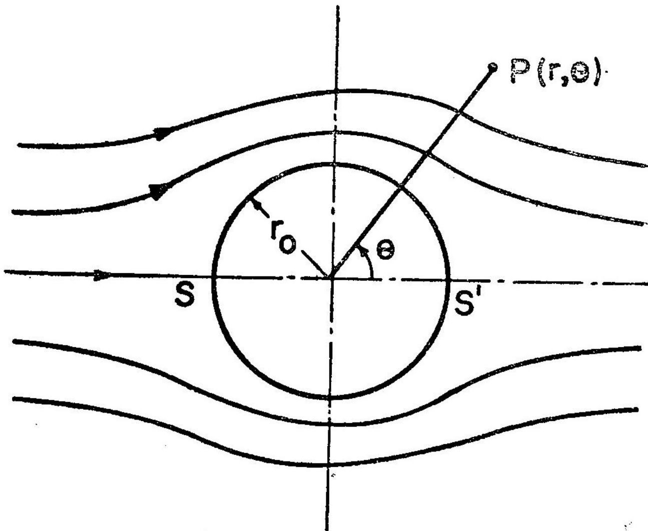
$$\therefore \ \frac{13{\cdot}8}{r} = 1$$

$$\therefore \ r = 13{\cdot}8 \text{ மீ}$$

ஆகவே, தீட்டானது குழாய் நீரில் கலக்காது.

5·7. சீரான ஓட்டத்தில் ஒரு இருமடி (A Doublet in an Uniform Flow)

சீரான ஓட்டத்தில் ஒரு இருமடி (O,O) என்ற மையத்தில் இருப்பதாக எடுத்துக் கொள்வோம். இருமடியிலிருந்து வெளிப் படும் பாய்மம் திரும்பவும் அதையே சென்று அடையுமாதலால், இதிலிருந்து சீரான ஓட்டத்தில் ஒரு உருளை இருப்பதற்குச் சமமான அமைப்பு ஏற்படும். x-அச்சிற்கு இணையாக V_o திசைவேகத்தி லுள்ள ஒரு சீரான ஓட்டத்தில் (O, O) என்ற மையத்திலிருக்கும் இருமடி அமைப்பிற்கான அழுத்த, இழைச் சார்புகளாவன :



படம் 5·5. உருளையைச் சுற்றிப் பாய்ச்சல்

$$\phi = -V_o x + \frac{C}{2\pi}\ \frac{x}{x^2+y^2} \qquad (5{\cdot}7\text{-அ})$$

$$\psi = +V_o y - \frac{C}{2\pi}\ \frac{y}{x^2+y^2} \qquad (5{\cdot}7\text{-ஆ})$$

பல இழைக் கோடுகளின் சமன்பாடானது,

$$V_o y - \frac{C}{2\pi}\ \frac{y}{x^2+y^2} = K$$

$\psi = 0$ ஆக இருக்கும்போது,

$$V_o y - \frac{C}{2\pi}\ \frac{y^2}{x^2+y^2} = 0$$

(அ-து) $$V_o y\left(1 - \frac{C}{2\pi r_o}\ \frac{1}{x^2+y^2}\right) = 0$$

எனவே, $y=0$ (5·8)

மேலும் $$\frac{C}{2\pi r_o}\ \frac{1}{x^2+y^2} = 1 \qquad (5{\cdot}9)$$

$y=0$ என்பது x-அச்சைக் குறிக்கும். சமன்பாடு 5·9, r_o ஆரமுள்ள வட்டம் மையம் (O,O) இருப்பதைக் குறிக்கும். ஆரத்தின் மதிப்பானது,

$$r_o = \sqrt{\frac{C}{2\pi V_o}} \qquad (5{\cdot}10)$$

இதனுல் ஏற்படும் அமைப்பு படம் 5·5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. x-அச்சில் S என்ற புள்ளியில் $\psi=0$ என்ற இழைக் கோடு இரண்டாகி, r_o ஆரமுள்ள வட்டத்தைச் சுற்றி பின்னர் S′ என்ற புள்ளியில் இணைந்து x-அச்சில் செல்கிறது. இதில் S, S′ என்பன தேக்கப் புள்ளிகளாகும். இருமடியால் ஏற்படும் இழைக் கோடுகள் இந்த வட்டத்தினுள் இருக்கும்.

P(r, θ) என்ற புள்ளியில் ஏற்படும் திசைவேகக் கூறுகளை, உருளைக் கூறுகள் அமைப்பில் (cylindrical coordinate system) வருவிப்போம். C என்ற இருமடியின் வலிமையை V_o, r_o என்பன வற்றுல் எழுதினுல்,

$$\phi = -V_o x\left(1 - \frac{r_o^2}{x^2+y^2}\right) = -V_o\left(1 - \frac{r_o^2}{r^2}\right) r\cos\theta \qquad (5{\cdot}11\text{-அ})$$

$$\psi = V_o y\left(1 - \frac{r_o^2}{x^2+y^2}\right) = V_o\left(1 - \frac{r_o^2}{r^2}\right) r\sin\theta \qquad (5{\cdot}11\text{-ஆ})$$

இந்தச் சமன்பாடுகளில் $r>r_o$

இப்போது ஆரத் திசைவேகம்

$$v_r = -\frac{d\phi}{dr} = V_o\left(1+\frac{r_o^2}{r^2}\right)\cos\theta \qquad (5\cdot12\text{-அ})$$

தொடுகோட்டுத் திசைவேகம்

$$v_\theta = -\frac{d\psi}{dr} = -V_o\left(1+\frac{r_o^2}{r^2}\right)\sin\theta \qquad (5\cdot12\text{-ஆ})$$

உருளையின் மேற்பரப்பில் $r=r_o$, $v_r=0$ மேலும்

$$v_o = -2V_o \sin\theta \qquad (5\cdot13)$$

5·8. சுழல் (Vortex)

தனிச் சுழலின் (free vortex) தன்மைகளைப் பற்றி அத்தியாயம் 4-ல் படித்தோம். தனிச் சுழலில் தொடுகோட்டுத் திசைவேகமானது அதன் ஆரத் தூரத்திற்கு எதிர் விகிதத்திலிருக்கும். தனிச் சுழலில், அதன் மையத்தைத் தவிர மற்ற இடங்களில் ஓட்டமானது சுழற்சியற்றது. தொடுகோட்டுத் திசைவேகமான

$$v_\theta = \frac{\Gamma}{2\pi}\frac{1}{r} \qquad (5\cdot14)$$

என்ற சமன்பாட்டில் v_θ என்பது r என்ற ஆர இறுதியில் தொடுகோட்டுத் திசைவேகத்தையும், Γ என்பது சுழலின் வலிமையையும் குறிக்கின்றன. ஆரத் திசையில் திசைவேகக் கூறு இல்லாததலால் இழை, அழுத்தச் சார்புகளை சமன்பாடு 5·14-ஐத் தொகையிட்டு அடையலாம்.

$$v_\theta = \frac{d\psi}{dr} = -\frac{1}{r}\frac{d\phi}{d\theta}$$

$$\therefore \psi = \frac{\Gamma}{2\pi}\log_e r \qquad (5\cdot15\text{-அ})$$

$$\phi = -\frac{\Gamma}{2\pi}\theta \qquad (5\cdot15\text{-ஆ})$$

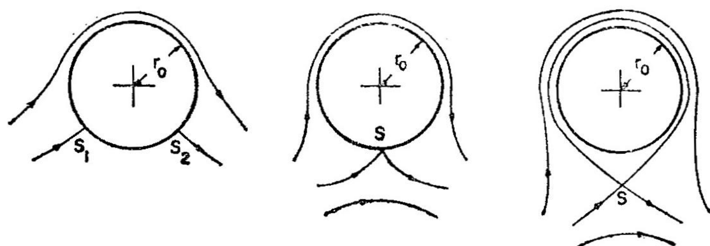
இதிலிருந்து தனிச் சுழலுக்கான சமன்பாடு 5·15, ஊற்றுக்கான சமன்பாடு 5·2 இவற்றின் ஒருமைப்பாடு நோக்கற்பாலது.

5·9. சீரான ஓட்டத்தில் ஒரு இருமடியும் சுழலும்

ஒரு உருளையைச் சுற்றி ஏற்படும் சீரான ஓட்டத்தின் அமைப்பைக் கணித அடிப்படையில் இருமடியைச் சுற்றி ஏற்படும் சீரான ஓட்டம் விளக்கும் எனக் கண்டோம். இப்போது இந்த உருளையைச் சுற்றி Γ வலிமையுள்ள சுழலானது இருக்குமானல், இந்தச் சுழலால் உருளையில் தூக்கு விசை (lift force) ஏற்படுகிறது. இதற்கு மாக்னஸ் விளைவு (Magnus effect) எனப் பெயர். சீரான ஓட்டத்தின் திசைவேகம் V_o என்றும், சுழலின் வலிமை Γ என்றும் கொள்வோம். (O,O) என்ற மையத்தில் r_o ஆரமுள்ள உருளை படம் 5·6-ல் உள்ளபடி இருக்குமானல்,

$$\phi = V_o\left(1+\frac{r_o^2}{r^2}\right)r\cos\theta - \frac{\Gamma}{2\pi}\theta \qquad (5·16\text{-அ})$$

$$\psi = V_o\left(1-\frac{r_o^2}{r^2}\right)r\sin\theta + \frac{\Gamma}{2\pi}\log_e r \qquad (5·16\text{-ஆ})$$



படம் 5·6. உருளையைச் சுற்றி பாய்ச்சலும் சர்க்குலேஷனும்

இந்தப் பாய்ச்சல் புலத்தில் P (r, θ) என்ற புள்ளியில் $r > r_o$ ஆக இருக்கும் போது v_r, v_θ என்ற திசைவேகக் கூறுகளாவன :

$$v_r = \frac{d\phi}{dr} = V_o\cos\theta\left(1-\frac{r_o^2}{r^2}\right)$$

$$v_\theta = \frac{1}{r}\frac{d\phi}{d\theta} = -V_o\sin\theta\left(1+\frac{r_o^2}{r^2}\right) - \frac{\Gamma}{2\pi r}$$

உருளையின் மேலுள்ள ஒரு புள்ளியில் $r = r_o$, $v_r = 0$. மேலும் v_θ-ன் மதிப்பு,

$$v_\theta = -2V_o\sin\theta - \frac{\Gamma}{2\pi r_o}$$

தேக்கப் புள்ளியில் $V=0$. ஆகவே, $v_\theta = 0$. எனவே,

$$\sin\theta = -\frac{\Gamma}{4\pi V_o r_o} \qquad (5·17)$$

சமன்பாடு 5·17-லிருந்து Γ என்பதின் மதிப்பைப் பொருத்து ஒன்று அல்லது இரண்டு தேக்கப் புள்ளிகள் உருளையில் உண்டாகலாம் என்றும் அல்லது ஒரு தேக்கப் புள்ளி படம் 5·6-ல் உள்ளபடி உருளைக்கு வெளியிலும் இருக்கலாம் என அறிகிறோம்.

தூக்கு விசையைக் கணக்கிட நமக்கு அந்த உருளையின் மேற்புறத்தில் உண்டாகும் அழுத்தப் பகிர்வு அவசியம். தொலை தூரத்தில் அழுத்தத்தின் மதிப்பு சுழியென எடுத்துக்கொண்டால், ρ அடர்த்தியுள்ள பாய்மத்திற்கு உருளையின் மேற்புறத்திலுள்ள அழுத்தமானது,

$$p=\frac{1}{2}\rho V_\circ^2\left[1-\left(\frac{V}{V_\circ}\right)^2\right]$$

$$=\frac{1}{2}\rho V_\circ^2\left[1-\left(-2\sin\theta-\frac{\Gamma}{2\pi r_\circ V_\circ}\right)^2\right]$$

$$=\frac{1}{2}\rho V_\circ^2\left[1-4\sin^2\theta-\frac{4\Gamma\sin\theta}{2\pi r_\circ V_\circ}-\frac{\Gamma^2}{4\pi^2 r_\circ^2 V_\circ^2}\right]$$

x-திசையில் விசையின் தொகுபலன் சுழியாகும். எனவே, y-திசையில்

$$F_y=\int_0^{2\pi} p r_\circ \sin\theta\, d\theta$$

ஆனால் $$\int_0^{2\pi}\sin\theta\, d\theta=\int_0^{2\pi}\sin^2\theta\, d\theta=0$$

எனவே,

$$F_y=\frac{\rho V_\circ \Gamma}{\pi}\int_0^{2\pi}\sin\theta^2\, d\theta=\rho V_\circ \Gamma \tag{5·18}$$

இதிலிருந்து தூக்கு விசைக்கும் உருளையின் ஆரத்திற்கும் சம்பந்தம் இல்லை எனத் தெரிகிறது.

பயிற்சிக் கணக்குகள்

5·1. (O, O) என்ற மையத்திலிருக்கும் ஒரு ஊற்றின் வலிமை 2 மீ^{3}/வி/மீ. (2, 0) என்ற புள்ளியிலிருக்கும் மற்றொரு ஊற்றின் வலிமை 3 மீ^{3}/வி/மீ ஆகும். (2, 2) என்ற புள்ளியில் திசைவேகம் என்ன ?

5·2. 5 மீ^{3}/வி/மீ வலிமையுள்ள ஊற்றும், 3 மீ/வி திசைவேகமுள்ள சீரான பாய்ச்சலும் ஒன்று சேர்ந்து இரு பரிமாண பாதி உருவத்தை உண்டாக்குகின்றன. அந்தப் பாதி உருவத்தின் உச்ச அகலத்தைக் கணக்கிடுக.

5·3. $\phi = 10x + 3 \log_e r$ இந்தச் சமன்பாடு எதைக் குறிக்கும் ?

5·4. இரு பரிமாண உருளையின் ஆரம் 2 மீ. அது 5 மீ/வி திசைவேகமுள்ள சீரான ஓட்டத்தில் அதன் அச்சு ஓட்டத்திற்கு நேர்குத்தாக இருக்கும்படி வைக்கப் பட்டுள்ளது. அந்த உருளை நிமிடத்திற்கு 100 சுற்றுகள் சுற்றினால் அதில் ஏற்படும் தூக்கு விசை என்ன ?

5·5. 2 மீ விட்டமுள்ள உருளை 10 மீ/வி திசைவேகமுள்ள ஒரு சீரான ஓட்டத்திலிருக்கிறது. இதைக் கணித முறையில் விளக்கும் இருமடியின் வலிமை என்ன ?

6. பரிமாணப் பகுப்பாய்வும் மாதிரிச் சோதனைகளும்

6·1. அலகுகளும் பரிமாணங்களும் (Units and Dimensions)

பொறியியல், அறிவியல் துறைகளில் ஒரு பொருளின் பல்வேறு சிறப்பியல்புகளை விளக்க அளவைகள் பயன்படுகின்றன. இந்த அளவைகள் ஒப்புமை அடிப்படையில் கையாளப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு அளவிற்கும் (quantity) நம் இச்சைப்படி ஒரு குறிப்பிட்ட அடிப்படையில் நிர்ணயிக்கப்பட்ட மூல அளவை நாம் கையாளுகிறோம். பௌதிக உலகில் சில அளவைகள் தனித்துவம் உடையனவாக, வேறு எவ்வித அளவைகளோடும் சம்பந்தப்படாதனவாக உள்ளன. எடுத்துக்காட்டாக நீளம் L, பொருண்மை M, நேரம் T என்ற மூன்று தனித்துவ அளவுகள் (independent quantities) எந்திரப் பொறியியலில் அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவற்றிற்குப் பரிமாணம் (dimension) என்றும் பெயர். எங்கு வெப்பமும் ஒரு குணமாக இருக்கிறதோ, அங்கு வெப்பநிலையும் ஒரு பரிமாணமாகக் கருதப்படும். இந்தத் தனித்துவ அளவுகளுக்கிடையே எந்தவிதமான சம்பந்தமும் இல்லாததால் அவற்றை அடிப்படைப் பரிமாணங்கள் (fundamental dimensions) என்று வழங்குகிறோம்.

பொருளின் சிறப்பியல்புகளை அளப்பதற்குப் பழங்காலந் தொட்டு பலதரப்பட்ட அளவுமுறைகள் கையாளப்பட்டு வந்துள்ளன. ஆனால் தற்காலத்தில் உலகில் பெரும் பகுதிகளில் பழக்கத்திலுள்ள அளவுமுறைகள் ஆங்கில முறையும் (British system), அனைத்துலக அலகு முறையும் (International System of Units) ஆகும். ஆங்கிலமுறையில் அடி (foot), பவுண்டு-பொருண்மை (Pound-mass), வினாடி (second) என்பன அலகுகளாக உள்ளன. அதேபோல் அனைத்துலக அலகு முறையில் மீட்டர் (metre),

அட்டவணை 6·1

அளவு	குறியீடு	பரிமாணம்	
		M,L,T	F,L,T
அடிப்படை அளவுகள்			
நீளம்	L	L	L
பொருண்மை	M	M	$FL^{-1}T^2$
நேரம்	T	T	T
விசை	F	MLT^{-2}	F
வடிவ அளவுகள்			
பரப்பு	A	L^2	L^2
பருமன்	V	L^3	L^3
இயக்க அளவுகள்			
திசைவேகம்	v	LT^{-1}	LT^{-1}
முடுக்கம்	a	LT^{-2}	LT^{-2}
பாயுவீதம்	Q	L^3T^{-1}	L^3T^{-1}
கோணத் திசைவேகம்	ω	T^{-1}	T^{-1}
அதிர்வெண் (frequency)	f	T^{-1}	T^{-1}
சர்க்குலேஷன்(circulation)	Γ	L^2T^{-1}	L^2T^{-1}
ஈர்ப்புவிசை	g	LT^{-2}	LT^{-2}
இயக்கப் பாகுநிலை	ν	L^2T^{-1}	L^2T^{-1}
இயக்கவிசை அளவுகள்			
அடர்த்தி	ρ	ML^{-3}	$FL^{-4}T^2$
அலகு பருமனெடை	w	$ML^{-2}T^{-2}$	FL^{-3}
இயக்கவிசைப் பாகுநிலை	μ	$ML^{-1}T^{-1}$	$FL^{-2}T$
அழுத்தச் செறிவு	p	$ML^{-1}T^{-2}$	FL^{-2}
புறப்பரப்பு இழுவிசை	σ	ML^{-2}	FL^{-1}
மீட்சிக் குணகம்	E, K	$ML^{-1}T^{-2}$	FL^{-2}
திறன்	P	ML^2T^{-3}	FLT^{-1}
வினை, ஆற்றல்	W	ML^2T^{-2}	FL

கிலோகிராம்-பொருண்மை (kilogram-mass), விநாடி (second) என்பன அலகுகளாகக் கையாளப்படுகின்றன. இரண்டாவது முறையான அனைத்துலக அலகு முறை பெரும்பாலான நாடுகளில் பழக்கத்திலுள்ளது.

பொருள்களின் சிறப்பியல்புகளை ஒன்று அல்லது அதற்கு அதிகமான நீளம், பொருண்மை, நேரம் என்ற அடிப்படைப் பரிமாணங்களால் குறிக்க முடியும். சில வேளைகளில் பொருண்மைக்குப் பதில் விசை அலகு F-ஐப் பயன்படுத்துகிறோம். ஆனால் விசை $M, L, T,$ என்பவற்றைச் சார்ந்தது. இந்தச் சார்பை நியூட்டனின் இரண்டாவது விதி விளக்குகிறது. அடர்த்தியானது ஒரு அலகு பருமனின் பொருண்மை என வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது. ஆகவே, அதன் பரிமாணம் $\frac{M}{L^3}$ ஆகும். இதேபோல் எடையின் பரிமாணம் $\frac{F}{L^3}$ ஆகும். திசைவேகம் $\frac{L}{T}$-ஆலும், முடுக்கம் $\frac{L}{T^2}$-ஆலும் குறிக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு அடிப்படைப் பரிமாணங்களால் விளக்கப்படும் அளவைகளுக்கு வழிவந்த அளவுகள் (derived quantities) எனப் பெயர். வழிவந்த அளவுகளை L, M, T அல்லது L, F, T முறைகளில் நாம் விளக்கமாக எழுதலாம். பொறியியற் துறையில் பயன்படும் பல அளவைகளுக்கு அட்டவணை 6·1-ல் பரிமாணங்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

6·2. பரிமாணங்களின் ஒருபடித்தன்மை (Dimensional Homogeneity)

ஒரு பௌதிக நிலையை விளக்கக் கொள்கை அடிப்படையில் வருவிக்கப்பட்ட எந்தச் சமன்பாட்டிலும், அதன் இரு பக்கங்களிலுமுள்ள உறுப்புகள் (terms) ஒவ்வொன்றும் L, M, T என்ற பரிமாணங்களின் ஒரே அளவான அடுக்குக் குறிகளை உடையனவாக இருக்கவேண்டும். இவ்வகையான சமன்பாடு ஒருபடித்தான பரிமாணத்தை உடையது என அழைக்கப்படுகிறது. இந்தச் சமன்பாட்டில் எந்த அளவுமுறையையும் பயன்படுத்தலாம். இப்போது இயக்கவிசையியலில் (dynamics) வரும் $s=ut+\frac{1}{2}gt^2$ என்ற சமன்பாட்டை எடுத்துக் கொள்வோம். இந்தச் சமன்பாட்டை அடிப்படைப் பரிமாணங்களால் எழுதினால்,

$$L=\frac{L}{T}T+\frac{1}{2}\frac{L}{T^2}T^2$$

இதிலுள்ள ஒவ்வொரு உறுப்பும் ஒரே அளவான பரிமாணத்தை உடையது என்பது தெளிவு. ஒருபடித்தான பரிமாணங்களை உடைய சில சமன்பாடுகளாவன:

1. $Q=AV$ பாயுவீதச் சமன்பாடு
2. $V=\sqrt{2gh}$ திசைவேகச் சமன்பாடு
3. $p_1-p_2=\dfrac{32\mu VL}{D^2}$ ஹேகன்-பாய்ஸே சமன்பாடு
4. $h_f=\dfrac{flV^2}{2gD}$ டார்ஸி-வெய்ஷ்பாஹ் சமன்பாடு

அனுபவச் சமன்பாடுகள் ஒருபடித்தான பரிமாணம் உடையனவாக இல்லாதிருக்கலாம். உதாரணமாக செசி வாய்ப்பாடு $V=C\sqrt{RS}$, மானிங் வாய்பாடு $V=\dfrac{R^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{N}$ என்பன ஒருபடித்தானவையல்ல. இப்படிப்பட்டச் சமன்பாடுகளுக்கு வெவ்வேறு அளவு முறைகளில் அவற்றிலுள்ள மாறிலிகள் வேறுபடும்.

6·3. பரிமாணப் பகுப்பாய்வு (Dimensional Analysis)

கொள்கை அடிப்படையில் வருவிக்கப்பட்ட எந்தச் சமன்பாடும் ஒருபடித்தான பரிமாணத்தை உடையதாக இருக்குமெனப் பார்த்தோம். வேறுபடும் தன்மையுள்ள பல அளவைகள் ஒரு பௌதிக நிலையைக் (physical situation) குறிக்குமானல், மேற்கண்ட உண்மையிலிருந்து அந்த அளவைகளுக்கிடையேயுள்ள தொடர்பை நாம் கணித முறையில் வருவிக்கலாம்.

இதை விளக்க ஒரு தனி ஊசலின் (simple pendulum) அலைவு நேரத்தை (period of oscillation) எவ்வாறு பரிமாணப் பகுப்பாய்வால் அடையலாம் எனப் பார்ப்போம். அலைவு நேரமானது ஊசலின் நீளத்தையும், புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தையும் சார்ந்தது. ஆகவே, அலைவு நேரமான t-ஐக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் குறிக்கலாம்.

$$t=f(l,g)$$
$$t=kl^{a}g^{b}$$

இதில் a, b என்பன மாறிலிகளாகும். இந்தச் சமன்பாட்டை அடிப்படைப் பரிமாணங்களால் எழுதினல்,

$$T=KL^{a}\frac{L^{b}}{T^{2b}}$$

இதில் K என்பது மாறிலியாகும். L, T என்ற பரிமாணங்களின் அடுக்குக் குறிகள் சமன்பாட்டின் இரு பக்கங்களிலும் சமமாக இருக்கவேண்டுமாதலால்,

$$a+b=0$$
$$b=-\tfrac{1}{2}$$

ஆகவே, $$a=+\tfrac{1}{2}$$

எனவே,

$$t=K\frac{l^{\frac{1}{2}}}{g^{\frac{1}{2}}}$$

சோதனைகள் மூலம் K-ன் மதிப்பு 2π என அறிகிறோம். ஆகவே, ஒரு தனி ஊசலின் அலைவு நேரம்,

$$t=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

இவ்வாறு வேறுபடும் அளவுகளின் தொடர்பைக் கொள்கை ரீதியில் அடைந்தால், சோதனைமுறை மூலம் அறியப்பட வேண்டியது அந்தச் சமன்பாட்டிலுள்ள மாறிலியின் மதிப்பேயாகும். ஆகவே, இந்த முறை சோதனையை எளிதாக்குகிறது. இதேபோல் $p=wh$, $V=\sqrt{2gh}$, $Q=AV$ முதலிய சமன்பாடுகளையும் நாம் வருவிக்கலாம். இம்முறை ராலே முறை (Rayleigh's method) எனப்படும்.

மாதிரிக் கணக்கு 6·1. ஒரு பம்பானது (pump) w அலகு பருமனெடையுள்ள திரவத்தை H உயரத்திற்கு Q பாயுவீதத்தில் (discharge) ஏற்றுகிறது. அந்தப் பம்பிற்குத் தேவையான திறனைக் (power) கணக்கிடு.

$$P=f(w,Q,H)$$
$$P=K\,w^{a}Q^{b}H^{c}$$

இதில் K, a, b, c முதலியன மாறிலிகளாகும். மேலேயுள்ள சமன்பாட்டைப் பரிமாணங்களால் எழுதினல்,

$$ML^{2}T^{-3}=K\,(ML^{-2}T^{-2})^{a}\,(L^{3}T^{-1})^{b}L^{c}$$

அந்த அந்த அடுக்குக் குறிகளைச் சமன்படுத்தினல்,

$$M:\quad -a=1$$
$$L:\quad -2a+3b+c=2$$
$$T:\quad -2a-b=-3$$

எனவே, $$a=b=c=1$$

$\therefore$ $$P=KwQH$$

மாதிரிக் கணக்கு 6·2. D விட்டமுள்ள கோளம், μ இயக்க விசைப் பாகுநிலைத் திரவத்தில் முழுவதும் மூழ்கியுள்ள நிலையில் V திசைவேகத்தில் நகர்ந்து செல்கிறது. திரவத்தின் அடர்த்தி ρ. அந்த வழவழப்பான கோளத்தில் தொழிற்படும் இழுவிசை (drag force) என்ன?

இப்போது

$$F=f(D, V, \rho, \mu)$$

எனவே,

$$F=K D^{a} V^{b} \rho^{c} \mu^{d}$$

பரிமாணங்களால் எழுதினால்,

$$MLT^{-2}=L^{a} (LT^{-1})^{b} (ML^{3})^{c} (ML^{-1}T^{-1})^{d}$$

அந்த அந்த அடுக்குக்குறிகளைச் சமன்படுத்தினால்,

$$1=c+d$$
$$1=a+b-3c-d$$
$$-2=-b-d$$

மூன்று அடிப்படைப் பரிமாணங்களிலிருப்பதால் மூன்று ஒருங்கைச் சமன்பாடுகள் (simultaneous equations) கிடைக்கின்றன. ஆனால் நமக்கு தெரியாத வேறுபடும் அளவுகளோ நான்கு உள்ளன. ஆகவே, a, b, c, d என்பவற்றின் மதிப்புகளைக் கண்டறிதல் இயலாது, இருந்தபோதிலும், இவற்றுள் மூன்று வேறுபடும் அளவுகளை, நான்காவது வேறுபடும் அளவால் விளக்க முடியும். இந்த நான்காவது வேறுபடும் அளவானது இந்தக் கணக்கிற்கு முக்கியமானதாக இருக்க வேண்டும். நாம் எடுத்துக் கொண்ட இந்தக் கணக்கிற்கு பாகுநிலை அதாவது பிசுபிசுப்புத் தன்மை மிக முக்கியமானதாகையால், a, b, c என்பவைகளை d மூலம் எழுதினால்,

$$c=1-d$$
$$b=2-d$$
$$-a=-1+b-3c-d$$
$$=-1+(2-d)-3(1-d)-d=-2+d$$
$$\therefore F=KD^{(2-d)}\, V^{(2-d)}\, \rho^{(1-d)}\, \mu^{d}$$
$$=K\rho V^{2} D^{2} V^{-d} \rho^{-d} \mu^{d} D^{-d}$$
$$=K\rho V^{2} D^{2} \left(\frac{1}{R}\right)^{d}$$

ஆனால்

$$C_D=\frac{2F}{A\rho V^{2}}=K'\left(\frac{1}{R}\right)^{d}$$

ஆகவே, $C_D = f'(R)$

எனவே, வழவழப்பான கோளத்திற்கான இழுவிசைக் கெழுவானது ரெயினல்ஸ் எண்ணைச் (Reynold's number) சார்ந்தது எனத் தெரிகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 6·2-லிருந்து நமக்கு கீழ்க்கண்ட இரண்டு உண்மைகள் தெளிவாகின்றன. (1) சாரா மாறி (independent variable) அதிகமாகும்போது சோதனைமுறை மூலம் சார்புடை மாறி (dependent variable) தீர்மானித்தல் கடினமாகிறது. தனித்துவமாக வேறுபடும் ஒவ்வொரு அளவின் மதிப்பையும் நம் விருப்பப்படி மாற்றலாமாதலால், சோதனையை ஒரு வரம்பிற்குட்படுத்துவது சாத்தியமல்ல. ஆனால் பரிமாணப் பகுப்பாய்வால் சோதனையை ஒரு வரம்பிற்குள் கொண்டுவர முடியும்; மேலும் சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் பலன்களையும் விஞ்ஞான அடிப்படையில் விளக்கமுடிகிறது. உதாரணமாக மாதிரிக் கணக்கு 6·2-ல் இழுவிசையானது ரெயினல்ஸ் எண்ணோடு சார்புடையதால், V, D, ρ, μ என்ற தனித்துவ வேறுபடும் அளவைகளின் மதிப்புகளை ஒன்றொன்றாக மாற்றுவதற்குப் பதில் R-ன் மதிப்பை மட்டும் மாற்றினால் போதும். இதனால் பயனற்ற பல சோதனைகளால் நாம் காலத்தையும், பொருளையும் வீணாக்கத் தேவையில்லை. (2) ஒரு பௌதிக நிலைமையிலுள்ள (physical phenomenon) அடிப்படைப் பரிமாணங்களின் எண்ணிக்கை வேறுபடும் அளவுகளின் எண்ணிக்கையைவிடக் குறைவாக இருக்குமானல், இந்த முறையால் விடை காண்பது கடினம். ஆகவே, ராலே முறை (Rayleigh's method) என அழைக்கப்படும் இம் முறையைவிட பக்கிங்ஹாம் (Buckingham) என்பவரால் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட π-தேற்றம் மிகப் பயனுள்ளது.

6·4. π-தேற்றம் (The π-Theorem)

பக்கிங்ஹாம் என்பவரால் இந்தத் தேற்றம் 1915-ம் ஆண்டு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஒரு பௌதிக நிலைமையானது n அளவைகளால் விளக்கப்படுமானல், அந்த n அளவைகள் m பரிமாணங்களை உடைத்தாக இருக்குமானல், அந்த அளவுகளை $(n-m)$ எண்ணிக்கையுள்ள பரிமாணமற்ற உறுப்புகளால் (dimensionless parameters) குறிக்க முடியும் என்பது இந்தத் தேற்றத்தின் சுருக்கமாகும்.

ஒரு பௌதிக நிலைமையில் $A_1, A_2, \ldots A_n$ என்பன நீளம், பாகு நிலை, அடர்த்தி, திசைவேகம், முடுக்கம் போன்ற அளவைகளாக இருக்கட்டும். இந்த அளவைகள் எல்லாம் ஒரு பௌதிக

நிலைமையை விளக்கத் தேவைபட்டால், அவைகளிடையே கீழ்க் கண்ட சார்பு இருக்க வேண்டும்.

$$F(A_1, A_2, A_3 \ldots\ldots\ldots A_n)=0 \qquad (6{\cdot}1)$$

மேலே உள்ள n அளவைகளில் m அடிப்படைப் பரிமாணங்கள் இருக்குமானல்

$$f(\pi_1, \pi_2, \pi_3 \ldots\ldots\ldots \pi_{n-m})=0$$

என்ற சமன்பாடு சாத்தியமாக இருக்கவேண்டும். இதில் π என்பது பரிமாணமற்ற எண்ணுகும்.

π என்பது பரிமாணமற்ற எண்ணனதால் அது எந்த அளவை முறையிலும் ஒரே மதிப்புள்ளதாக இருக்கும். அந்த எண்ணை ஒரு மாறிலியால் பெருக்குவதாலோ, அல்லது வகுப்பதாலோ அல்லது ஒரு π-ஐ மற்ருெரு π-ஆல் பெருக்குவதாலோ அல்லது வகுப்ப தாலோ, அல்லது அடுக்குக் குறியை மாற்றுவதாலோ π-ன் தன்மை மாறுவதில்லை. π எண்ணை அவற்றுள் எந்த வகையிலும் அமைத்து தேவைப்பட்டால் புதிய பரிமாணமற்ற எண்களை உண்டாக்கலாம்.

6·5. π-தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தும் முறை

π-தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தும்போது F-க்குப் பதில் M-ஐப் பரிமாணமாகக் கையாளுதல் சிறந்தது.

சமன்பாடு 6·1-லிருந்து அதிலுள்ள எந்த வேறுபடும் அளவும் மற்ற வேறுபடும் அளவுகளைச் சார்ந்தது என்பது தெளிவு. ஆனல் நடைமுறையில் ஏதாவது ஒரு வேறுபடும் அளவையானது மற்றவை களைப் பெரும்பாலும் சார்ந்திருக்கும். அந்த ஒன்றைத் தவிர மற்றவைகளின் மதிப்பை நம் விருப்பப்படி மாற்றிக் கொண்டே இருக்கலாம். ஆகவே, இவ்வாறு சார்ந்திருக்கும் ஒன்றிற்கு சார்ந்த வேறுபடும் அளவை (dependent variable) என்றும், மற்ற வைகளுக்குத் தனித்துவ வேறுபடும் அளவைகள் (independent variables)என்றும் பெயர். முதற்கண் கொடுக்கப்பட்டுள்ள பௌதிக நிலைமையில் வேறுபடும் அளவுகளை, எதையும் விட்டுவிடாமல் நிர்ணயிக்க வேண்டும். பின்னர் அவற்றுள் எது சார்ந்த வேறுபடும் அளவு என்பதைத் தீர்மானிக்க வேண்டும். சரியில்லாத தேவை யற்ற, வேறுபடும் அளவுகளை நாம் எடுத்துக் கொள்வோமானல் அர்த்தமற்ற விடைகளை அடைந்து எந்தவிதமான சரியான முடிவிற்கும் வர இயலாது.

பாய்ம எந்திரப் பொறியியலில் வரும் வேறுபடும் அளவுகளைக் கீழ்க்கண்ட மூன்று பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். (1) அமைப்பின்

வடிவத்தை விளக்குபவன, அதாவது நீளம், பரப்பு, கன அளவு போன்றவைகளே. (2) அந்த அமைப்பிலுள்ள பாய்ச்சலின் இயக்க, இயக்கவிசைத் தன்மைகளை விளக்குபவன. அதாவது திசைவேகம், முடுக்கம், உந்தம், ஆற்றல், திறன், வினை போன்றன. (3) பாய்மத்தின் பௌதிகச் சிறப்பியல்புகளை விளக்கும் அளவுகள். அதாவது பாகுநிலை, புறப்பரப்பு இழுவிசை, மீள்விசை, ஆவி அழுத்தம் முதலியன.

π-தேற்றத்தைக் கையாளும் முறை படிப்படியாகக் கீழே விளக்கப்பட்டுள்ளது.

(1) கொடுக்கப்பட்டுள்ள உத்திக்கணக்கில் (problem) உள்ள எல்லா வேறுபடும் அளவுகளையும், எதையும் விட்டுவிடாமல், குறித்துக்கொண்டு அவற்றின் சார்புத் தொடர்பை எழுதுக.

(2) அவற்றுள் சார்ந்த அளவைத் தீர்மானி.

(3) இந்த உத்திக்கணக்கிலுள்ள அடிப்படைப் பரிமாணங்கள் m-ஆக இருக்கட்டும். பிறகு m அல்லது அதற்குக் குறைவான திரும்ப வரும் வேறுபாடுகளைத் (repeating variables) தேர்ந்தெடு. இவ்வாறு தேர்ந்தெடுப்பதில், மேலே விளக்கப்பட்ட மூன்று பிரிவுகள் ஒவ்வொன்றிலிருந்தும் ஒரு வேறுபடும் அளவைத் தேர்ந்தெடுப்பது வழக்கம். இந்தத் திரும்பவரும் வேறுபாடுகள் மட்டுமே சேர்ந்து ஒரு பரிமாணமற்ற எண்ணைத் தரக்கூடியதாக இருக்கக்கூடாது.

(4) இந்த ஒவ்வொரு திரும்ப வரும் வேறுபாட்டிற்கும் மதிப்புத் தெரியாத ஒவ்வொரு அடுக்குக் குறியை இடவும். பின்னர் திரும்பவரும் வேறுபாட்டில் சேர்க்கப்படாத வேறுபாட்டோடு இணைத்து ஒரு π எண்ணை உண்டாக்கவும்.

(5) இந்த π எண்ணிலுள்ள அடுக்குக் குறிகளின் மதிப்புக்களை ஒரு படித்தான பரிமாணத் தன்மை என்ற அடிப்படையில் ஒருங்கைச் சமன்பாடுகளின் உதவியால் கணிக்கவும்.

(6) மேலேயுள்ள 4, 5 வழிகள் திரும்பத் திரும்ப கையாளப் பட்டு ($n-m$) அல்லது அதற்கு அதிகமான பரிமாணமற்ற எண்கள் அடையப்படுகின்றன.

6·6. π-தேற்றத்தில் திருத்தம்

மேலே விளக்கப்பட்டுள்ள மூன்றாவது வழியில் சில வரம்புகளை restrictions) நாம் ஏற்படுத்தியுள்ளோம். பல பொறியியற்

நிலைமைகளுக்கு விடை காண்பதற்கு இந்த வரம்புகள் உறுதுணையாக இருக்கின்றன. கீழே எந்தவிதமான வரம்புகளாலும் கட்டுப்படுத்தப்படாது, மிகச் சரியான முறையில் π-தேற்றத்தின் வாசகம் திருத்தியமைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

ஒரு பௌதிக நிலைமையை விளக்க n அளவைகள் தேவையானால், அந்த அளவைகளில் m அடிப்படைப் பரிமாணங்கள் இருக்குமானால், பின்னர் அந்த அளவைகளிலிருந்து $(n - r)$ எண்ணிக்கையுள்ள பரிமாணமற்ற உறுப்புகளை அடையலாம். இதில் $r \leq m$. m என்பது $n \times m$ அணியின் (matrix) தரமாகும் (rank).

இப்போது $r < m$-ஆக இருக்குமானால், திரும்ப வரும் வேறுபாடுகள் r-ஆக இருக்கும். π-தேற்றத்தை அடிப்படையிலிருந்து இங்கு வருவிக்கவில்லை. அதற்குக் கணித நூல்களைப் பார்க்க. ஆனால் π-தேற்றத்தின் பயன்களை சில எடுத்துக்காட்டுகளால் விளக்குவோம்.

மாதிரிக் கணக்கு 6·3. மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்தில் (supersonic velocity) செல்லும் விமானத்தில் ஏற்படும் தடைவிசை (resisting force) F, அதன் நீளம் L, திசைவேகம் V, காற்றின் பாகுநிலை μ, காற்றின் அடர்த்தி ρ, பருமமீட்சிக் குணகம் K இவற்றைச் சார்ந்தது. இந்த வேறுபடும் அளவைகளிடையேயுள்ள சார்பையும், தடைவிசையையும் காண்.

இப்போது,

$$\phi(F, L, V, \rho, \mu, K) = 0$$

இந்தக் கணக்கில் சார்புடை மாறி F ஆகும். ஆறு மாறிகளும், மூன்று அடிப்படைப் பரிமாணங்களும் உள்ளன. எனவே, π-உறுப்புகளின் எண்ணிக்கை (6—3) = 3 ஆகும். L, V, ρ-ஐத் திரும்ப வரும் வேறுபாடுகளாகத் தேர்ந்தெடுத்தால் π-உருப்புகள்,

$$\pi_1 = L^{a_1} V^{b_1} \rho^{c_1} F = L^{a_1}(LT^{-1})^{b_1}(ML^{-3})^{c_1}(MLT^{-2})$$
$$\pi_2 = L^{a_2} V^{b_2} \rho^{c_2} \mu = L^{a_2}(LT^{-1})^{b_2}(ML^{-3})^{c_2}(ML^{-1}T^{-1})$$
$$\pi_3 = L^{a_3} V^{b_3} \rho^{c_3} K = L^{a_3}(LT^{-1})^{b_3}(ML^{-3})^{c_3}(ML^{-1}T^{-2})$$

L, M, T-ன் அடுக்குக் குறிகளை சுழிக்குச் சமன்படுத்தினால் π_1-ல்,

$$a_1 + b_1 - 3c_1 + 1 = 0$$
$$c_1 + 1 = 0$$
$$-b_1 - 2 = 0$$

சமன்பாடுகளைத் தீர்த்தால்,

$$a_1 = -2$$
$$b_1 = -2$$
$$c_1 = -1$$

எனவே,

$$\pi_1 = \frac{F}{\rho L^2 V^2}$$

இதேபோல்,

$$\pi_2 = \frac{\mu}{\rho L V}$$

$$\pi_3 = \frac{K}{\rho V^2}$$

ஆகவே,

$$\phi'\left(\frac{F}{\rho L^2 V^2}, \frac{\mu}{\rho L V}, \frac{K}{\rho V^2}\right) = 0$$

$$F = \rho V^2 L^2 \phi''\left(\frac{\mu}{\rho L V}, \frac{K}{\rho V^2}\right)$$

எனவே, தடைவிசையானது ரெயினொல்ஸ், மாக் (Mach) எண்களைச் சார்ந்தது.

மாதிரிக் கணக்கு 6·4. ஒரு குழாயிற் பாயும் கொந்தளிப்பு ஓட்டத்தில் அக்குழாயின் இரண்டு இடங்களுக்கிடையேயுள்ள அழுத்த வேறுபாடு அந்த ஓட்டத்தின் திசைவேகம் V, குழாயின் விட்டம் D, பாய்மத்தின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலை μ, அடர்த்தி ρ, சொரசொரப்பு k, அந்த இரண்டு இடங்களுக்குமுள்ள தூரம் l ஆகியவற்றைச் சார்ந்தது. பரிமாணப் பகுப்பாய்வு முறையில் குழாய்த் தடைச் சமன்பாட்டை வருவி.

$$F(\triangle p, V, D\ \rho, \mu, k, l) = 0$$

இவற்றில் D, V, ρ என்பவற்றை திரும்பவரும் வேறுபாடுகளாகத் தேர்ந்தெடுத்தால், π-உறுப்புகள் பின்வருமாறு இருக்கும்.

$$\pi_1 = V^{a1} D^{b1} \rho^{c1} \triangle p$$
$$\pi_2 = V^{a2} D^{b2} \rho^{c2} \mu$$
$$\pi_3 = V^{a3} D^{b3} \rho^{c3} k$$
$$\pi_4 = V^{a4} D^{b4} \rho^{c4} l$$

மாதிரிக் கணக்கு 6·3-ல் கையாளப்பட்ட முறைப்படி அடுக்குக் குறிகளின் மதிப்புகளைக் கண்டுபிடித்தால்,

$$f\left(\frac{\rho V^2}{\Delta p}, \frac{VD\rho}{\mu}, \frac{k}{D}, \frac{D}{l}\right)=0$$

அதாவது

$$\frac{\Delta p}{\rho V^2}=\phi\left(R, \frac{k}{D}, \frac{l}{D}\right)$$

அல்லது

$$\frac{\Delta p}{w}=\frac{V^2}{2g}\phi'\left(R, \frac{k}{D}, \frac{l}{D}\right)$$

சோதனைகளிலிருந்து அழுத்த வேறுபாடு $\frac{l}{D}$-ஐச் சார்ந்தது என அறிகிறோம். ஆகவே,

$$h_f=\frac{l}{D}\frac{V^2}{2g}\phi_1\left(R, \frac{k}{D}\right)$$

அல்லது

$$h_f=\frac{flV^2}{2gD}$$

இதில் f-ன் மதிப்பு R, $\frac{k}{D}$-ஐச் சார்ந்தது.

மாதிரிக் கணக்கு 6·5. ஒரு முன் தள்ளுசுழலி(propeller)யில் ஏற்படும் தள்ளுவிசை(thrust)யை பரிமாணப் பகுப்பாய்வின் அடிப்படையில் வருவித்து விளக்குக. இந்த விளக்கம் உருவத்தில் ஒரே மாதிரியாக இருக்கும் சுழலிகளுக்குப் பொருத்தமாக இருக்க என்ன தேவை?

தள்ளுவிசையானது, கோணத் திசைவேகம் ω, முன் செல்லும் வேகம் V, விட்டம் D, இயக்கவிசைப் பாகுநிலை μ, அடர்த்தி ρ, ஊடகத்தின் மீட்சித் தன்மையை ஒலித் திசைவேகத்தால் குறித்தால் C ஆகியவற்றை சார்ந்திருக்கும். தள்ளுவிசை F_t ஆனால்,

$$F(F_t, V, D, \omega, \mu, \rho, C)=0$$

மொத்த π-உறுப்புகள் $(7-3)=4$ ஆகும். D, ω, ρ என்ற மாறுபடும் அளவைகளைத் திரும்பவரும் வேறுபாடுகளாக எடுத்துக் கொண்டு π-உறுப்புகளை எழுதினால்,

$$\pi_1 = D^{a1}\omega^{b1}\rho^{c1}F_t = L^{a1}(T^{-1})^{b1}(ML^{-3})^{c1}MLT^{-2}$$
$$\pi_2 = D^{a2}\omega^{b2}\rho^{c2}V = L^{a2}(T^{-1})^{b2}(ML^{-3})^{c2}LT^{-1}$$
$$\pi_3 = D^{a3}\omega^{b3}\rho^{c3}\mu = L^{a3}(T^{-1})^{b3}(ML^{-3})^{c3}ML^{-1}T^{-1}$$
$$\pi_4 = D^{a4}\omega^{b4}\rho^{c4}c = L^{a4}(T^{-1})^{b4}(ML^{-3})^{c4}LT^{-1}$$

இதிலிருந்து கிடைக்கும் π-உறுப்புகளிலிருந்து,

$$F\left(\frac{F_t}{\rho\omega^2D^4}, \frac{V}{\omega D}, \frac{\rho\omega D^2}{\mu}, \frac{C}{\omega D}\right) = 0$$

π-உறுப்புகளை ஒன்றோடொன்று சேர்த்து பிற π-உறுப்புகளை உண்டாக்கலாம். எனவே, இரண்டாவது உறுப்பையும், மூன்றாவது உறுப்பையும் பெருக்குத் தொகையால் மூன்றாவது உறுப்பை இடம் பெயர்க்கவும். இரண்டாவது உறுப்பைக் கடைசி உறுப்பால் வகுக்கவும். பின்னர்

$$\frac{F_t}{\rho\omega^2D^4} = \phi\left(\frac{V}{\omega D}, \frac{VD\rho}{\mu}, \frac{V}{C}\right)$$

இதில் ரெயினல்ஸ் எண் $\frac{VD\rho}{\mu}$ என்பதின் மதிப்பு தொடர்வாக அதிகமாக இருக்குமானால், அந்த எண் மாதிரிச் சோதனையைக் கட்டுப்படுத்தாது. ஆனால் மாக் எண்ணான $\frac{V}{C}$ யில், V என்ற முன் செல் திசைவேகத்தின் (velocity of advance) மதிப்பு ஒலிவேகத்திற்குச் சமீபத்தில் இருக்குமானால் தான் சோதனைகளை அதிகமாகக் கட்டுப்படுத்தும். ஆனால் மாதிரிச் சோதனைகளில் $\frac{V}{\omega D}$ என்ற முதலாவது π-உறுப்பு மிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்தது. எனவே, $\frac{V}{\omega D}$ க்கும் $\frac{F_t}{\rho\omega^2D^4}$ க்கும் உள்ள தொடர்பை விளக்கும் வரைபடம் ஒரே மாதிரியான, ஆனால் வெவ்வேறு அளவுள்ள முன் தள்ளுசுழலிகளின் தன்மைகளை விளக்கும்.

மாதிரிக் கணக்கு 6·6. ஒரு பெல்டன் டர்பைனில் (Pelton turbine) d விட்டமுள்ள தாரைக்கும், சக்கரத்தின் சுருதி வட்ட (pitch circle) விட்டமான D-க்குமுள்ள சார்பை வருவி.

இந்த அமைப்பிலுள்ள வேறுபடும் அளவைகள் தாரைத் திசைவேகம் V, சக்கரத்தின் விளிம்புத் திசைவேகம் v, வெளிப்படும்

திறன் *P*, சுற்றுவீதம் *N*, பாய்மத்தின் அடர்த்தி ρ, பாயுவீதம் *Q*, புவியீர்ப்பு முடுக்கம் *g*, தலைப்பு *H* ஆகியவைகளாகும். எனவே,

$$f(d, D, v, V, P, N, \rho, Q, g, H)=0$$

இதில் *D*, *N*, ρ என்ற மூன்றையும் திரும்பவரும் வேறுபாடுகளாக எடுத்துக்கொண்டு, π-தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தினால்,

$$\frac{d}{D}=\phi\left(\frac{v}{ND}, \frac{V}{ND}, \frac{P}{\rho N^3 D}, \frac{Q}{ND^3}, \frac{g}{ND^2}, \frac{D}{H}\right)$$

முதல், கடைசி உறுப்புகளை தலைகீழாக்கிப் பக்கத்திலுள்ள உறுப்பு களோடு பெருக்கினால்,

$$\frac{d}{D}=\phi'\left(\frac{V}{v}, \frac{P}{\rho N^3 D^5}, \frac{Q}{ND^3}, \frac{gH}{N^2 D^2}\right)$$

மேலே உள்ள சமன்பாட்டில் பிறைகளுக்குள்ளிருக்கும் இரண் டாவது, மூன்றாவது, நான்காவது உறுப்புகள் திறன்கெழு (power coefficient), கொள்ளளவுக் கெழு (capacity coefficient), தலைப்புக் கெழு (head coefficient) ஆகியவற்றை முறையே குறிக்கும். இந்தக் கெழுக்களின் மதிப்பு அமைப்பில் ஒத்துள்ள(homologous) வற்றிற்குச் சமமாக இருக்கும். இந்தப் பகுப்பாய்வு பம்புகள், டர்பைன்கள் போன்ற பாய்ம எந்திரங்களுக்குப் பொருந்தும்.

இதிலுள்ள முக்கியமாக வேறுபடும் அளவைகள் பம்பிற்கு *N*, *Q*, *H* என்பனவும், டர்பைன்களுக்கு *N*, *P*, *H* என்பனவும் ஆகும். ஆகவே, இவற்றைக் கொண்டு பரிமாணமற்ற எண்ணை அடைந்தால் அந்த எண் பம்புகள், டர்பைன்களின் சிறப்பியல்பு களை அறிவியல் அடிப்படையில் விளக்கப் பயன்படும். மேலேயுள்ள சமன்பாட்டிலிருந்து கீழ்க்கண்ட பரிமாணமற்ற எண்ணை பம்பு களுக்கு அடையலாம்.

$$\left(\frac{Q}{ND^3}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{N^2D^2}{gH}\right)=\frac{N\sqrt{Q}}{(gH)^{\frac{3}{4}}}$$

அதேபோல் டர்பைன்களுக்கு,

$$\left(\frac{P}{\rho N^3 D^5}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{N^2D^2}{gH}\right)^{\frac{5}{4}}=\frac{N\sqrt{P}}{\rho^{\frac{1}{2}}(gH)^{\frac{5}{4}}}$$

இந்த எண்களில் அடர்த்தி ρ-வையும் புவியீர்ப்பு முடுக்கம் *g*-யையும் மாறிலிகளாக எடுத்துக்கொள்ளலாம். எனவே, நீரியற் எந்திரங்

களைப் பற்றி ஆராயும்போது பம்புகளுக்கு $\frac{N\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$ என்ற எண்ணை யும், டர்பைன்களுக்கு $\frac{N\sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}}$ என்ற எண்ணையும் 'பரிமாணமற்ற' எண்களாக எடுத்துக் கொள்கிறோம். இவற்றிற்குத் தனிவேகம் (specific speed) எனப் பெயர். மாதிரிச் சோதனைகளில் அமைப்பில் ஒத்துள்ளவைகளுக்குத் தனிவேகத்தின் மதிப்பு சமமாக இருக்கும்.

6·7. π-தேற்றத்தை உபயோகிப்பதில்

ஒரு ஆய்வில் பல மாறிகள் இருக்குமானால், ஒவ்வொன்றையும் தனித்தனியே மாறச் செய்து அதனால் ஏற்படும் பலன்களைக் கண்டறிவது எளிதான காரியமல்ல. அவ்வாறு கண்டறிந்த பலன்கள் எந்த வரம்புகளுக்குள் சோதனைகள் நடத்தப் பட்டனவோ, அந்த வரம்புகளுக்குள் மட்டுமே செல்லுபடியாகும். இவ்வாறு அனுபவ அடிப்படையில், எவ்வித அறிவியல் அடிப் படையுமின்றி நடத்தப்படும் சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் பலன்களை நம்மால் பொதுப்படையாக மற்றச் சூழ்நிலைகளில் பயன்படுத்த முடியாது.

எடுத்துக்காட்டாக, மாதிரிக் கணக்கு 6·5-ஐ எடுத்துக் கொள்வோம். முன் தள்ளுசுழலியில் ஏற்படும் தள்ளுவிசை அங்கு விளக்கப்பட்ட ஆறு வேறுபடும் அளவைகளைச் சார்ந்தது. ஆனால் பரிமாணப் பகுப்பாய்வு அடிப்படையில் இவ்வாறு வேறுபடும் அளவைகளின் எண்ணிக்கையைக் குறைத்து, பின்னர் அறிவியல் அடிப்படையில் அவ்வாறு குறைக்கப்பட்ட உறுப்புகளில் சிலவற்றை முக்கியமல்ல என்ற காரணத்திற்காகப் புறக்கணித்து விடுகிறோம். இந்த எடுத்துக்காட்டில், R-ன் மதிப்பு வெகு அதிக மாக இருக்குமாதலால், முடிவுகள் R-ல் பாதிக்கப்படாது. ஆகவே, R-ஐப் புறக்கணித்து விடலாம். அதேபோல், பொதுவாக, காற்றோட்டமானது ஒலியின் வேகத்திலிராது; ஆதலால் M-ஐயும் புறக்கணித்து விடலாம். எனவே, $\frac{V}{\omega D}$ என்ற உறுப்பே எஞ்சி யுள்ளது. ஆகவே, தள்ளுவிசை $\frac{V}{\omega D}$-ஐ மட்டும் பொருத்திருக்கும் என்பது தெளிவு. இப்போது $\frac{V}{\omega D}$-ல் V-ஐமட்டும் வேறு படுத்திச்சோதனைகள் நடத்தினால் போதும். இவ்வாறு சோதனைகளை

அறிவியல் அடிப்படையில் எளிதாகவும், சிக்கனமாகவும், குறைந்த கால அளவிலும் செய்து நல்ல பலன்களை அடைய முடிகிறது.

ஆகவே, பரிமாணப் பகுப்பாய்வால் வேறுபடும் அளவைகளின் எண்ணிக்கையைக் குறைக்க முடிகிறது; சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் முடிவுகளை அர்த்தமுள்ள முறையில் விளக்க முடிகிறது. பரிமாணப் பகுப்பாய்வு கணிதமுறையின் அடிப்படையில் அமைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு வழியாகும். பௌதிக நிலைமையை நன்கு அறிந்து எந்த எந்த வேறுபடும் அளவைகள் முக்கியம் எனச் சரியாகத் தேர்ந்தெடுக்க விட்டால், நமக்குத் தேவையற்ற பல பரிமாணமற்ற எண்கள் கிடைக்கும். அதனால் சோதனையை தவறான முறையில் நடத்த ஏதுவாகும். மேலும் π-உறுப்புகளால் நம்முடைய தவறுகளைத் தடுத்து நிறுத்தி, நாம் எங்கு தவறு செய்துள்ளோம் எனக் காட்டிக் கொடுக்க முடியாது. எனவே, இந்த முறையைக் கையாளும் பொறியாளர் கொடுக்கப்பட்ட நிலைமையைப்பற்றி நன்கு தெரிந்து அறிந்த பின்னரே இம்முறையைத் தவறின்றிப் பயன்படுத்தலாம்.

அமைப்பில் ஒத்துள்ளவைகள், சிறியனவாக இருந்தாலும் பெரியனவாக இருந்தாலும் அவற்றிற்குப் பரிமாணமற்ற எண்களின் மதிப்பு சமமாக இருக்குமாதலால், பின்வரும் பகுதியில் பரிமாணமற்ற எண்களின் பயன்களைப்பற்றி மாதிரிச் சோதனை என்ற தலைப்பில் படிப்போம்.

6·8. மாதிரிச் சோதனை முறை

பல பொறியியற் உத்திக்கணக்குகளை (problems) கொள்கை ரீதியில் அலசி ஆராய முடியாது. ஆகவே, சோதனை முறைகள் மூலம் அவற்றிற்கான விடைகளைக் கண்டறிதல் அவசியமாகிறது. பெரிய பொறியியல் அமைப்புகளான அணைக்கட்டுகள், துறை முகங்கள், ஆகாய விமானங்கள் போன்றவைகளில் அவற்றின் முழு உருவ அமைப்பில் சோதனைகள் செய்து பார்ப்பது சாத்தியமல்ல. முழு உருவஅமைப்பில் அவற்றைக் கட்டுவதற்குப் பொருள்செலவு அதிகமாகும்; மேலும் கால தாமதமும் ஏற்படும். ஆகவே, அப்படிப் பட்ட நிலைமைகளில் பெரிய அமைப்புகளை வடிவ அமைப்பில் மாறாதபடி சிறிய அளவிற்குச் செய்து, அந்தச் சிறிய அமைப்பில் சோதனைகள் நடத்தப்படுகின்றன. அந்தச் சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் பலன்களைக் கொண்டு பெரிய அமைப்பில் என்ன என்ன நிகழும் எனத் தீர்மானிக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு தீர்மானிப்பதற் கான விதிமுறைகள் இருப்பதால், இந்த முறை பொறியியற்

அமைப்புகளை நிர்மாணிப்பதற்கான புள்ளி விபரங்களைச் சரியாக அடைவதற்குப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. எவ்வாறு பெரிய அமைப்புகளை அவற்றைப் போன்ற சிறிய அமைப்புகளில் சோதனைகள் மூலம் ஆராய்கிறோமோ, அதேபோல் சிறிய அமைப்புகளைப் பெரிதுபடுத்தியும் அந்தப் பெரிய அமைப்புகளில் சோதனைகள் நடத்தி உண்மைகளை அடையலாம். இந்த முறைக்கு மாதிரிச் சோதனை (Model experiment) எனப் பெயர்.

6·9. ஒப்புமை (Similitude)

மாதிரியும், அசலும் (அதாவது மூலமும்) முழுக்க முழுக்க ஒப்புமை உள்ளனவாக இருக்க வேண்டுமானால், மாதிரியும் அசலும் வடிவத்தாலும், இயக்க விசையாலும், இயக்கத்தாலும் ஒன்றுக்கொன்று ஒருமித்திருக்கவேண்டும்.

வடிவ ஒருமிப்பு(Geometric Similitude): மாதிரியாக அமைக்கப்பட்டுள்ளதின் வடிமானது அசலின் வடிவத்தை எல்லா வகையிலும் ஒத்திருந்து, அளவில் மட்டும் மாறுபட்டிருக்குமானால் வடிவ ஒருமிப்பு இருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது. அதாவது எல்லா நீளங்களும், சொரசொரப்பு உட்பட, ஒரே அளவிற்குக் குறைக்க அல்லது கூட்டப்பட்டிருக்கின்றன. இந்த விகிதத்திற்கு மாதிரி விகிதம் (model ratio) எனப் பெயர்.

$$\text{பரப்பு விகிதம்} = \frac{A_m}{A_p} = \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^2 = L_r^2$$

$$\text{பருமன் விகிதம்} = \frac{V_m}{V_p} = \left(\frac{L_m}{L_p}\right)^3 = L_r^3$$

இயக்க ஒருமிப்பு (Kinematic Similitude): மாதிரியிலும், அசலிலும் நகரும் துகள்கள் ஒத்துள்ள (homologous) பாதையையும், அந்தத் துகள்களின் திசைவேகம், முடுக்கம், கோணத் திசைவேகம் இவற்றின் விகிதங்கள் மாதிரியிலும் அசலிலும் சமமாக இருக்குமானால், அவற்றிடையே இயக்க ஒருமிப்பு இருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, அசல், மாதிரி இவைகளுடைய பாய்ச்சல் வலைகள் (flow-nets), அவற்றின் அளவுகளைத் தவிர, அமைப்பில் ஒரே மாதிரியாக இருக்கும். இயக்க ஒருமிப்பு இருக்குமானல் வடிவ ஒருமிப்பு இருக்கிறது எனக் கொள்ளலாம்.

இயக்க அளவைகளான திசைவேகம், முடுக்கம், பாயுவீதம்' இயக்கப் பாகுநிலை முதலியவற்றை மாதிரி விகிதத்தாலும், நேர அளவு விகிதத்தாலும் (time scale ratio) கீழ்க்கண்டவாறு குறிக்கலாம்.

$$\text{திசைவேக விகிதம் } V_r = \frac{V_m}{V_p} = \frac{\frac{L_m}{T_m}}{\frac{L_p}{T_p}} = \frac{L_r}{T_r}$$

(இதில் m, p என்ற பின்னொட்டுக்கள் முறையே மாதிரி, அசல் முதலியவற்றைக் குறிக்கும்.)

$$\text{முடுக்க விகிதம் } a_r = \frac{a_m}{a_p} = \frac{\frac{L_m}{T_m^2}}{\frac{L_p}{T_p^2}} = \frac{L_r}{T_r^2}$$

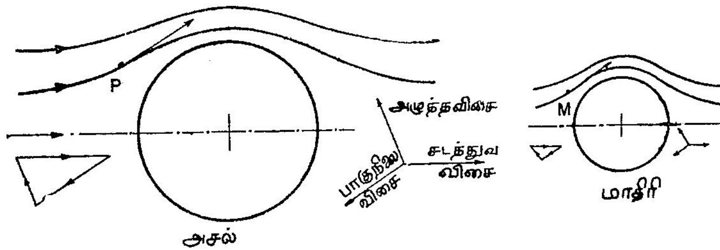
$$\text{பாயுவீத விகிதம் } Q_r = \frac{Q_m}{Q_p} = \frac{\frac{L_m^3}{T_m}}{\frac{L_p^3}{T_m}} = \frac{L_r^3}{T_r}$$

இயக்கவிசை ஒருமிப்பு (Dynamic Similitude): வடிவ, இயக்க ஒருமிப்புகளையுடைய அசலிலும், மாதிரியிலும் அமைப்பில் ஒத்த புள்ளிகளில் தொழிற்படும் சடத்துவ விசை, சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசை, புறப்பரப்பு இழு விசை, ஈர்ப்பு விசை, மீட்சி விசை, அழுத்த விசை இவற்றின் தனித்தனியான விகிதங்கள் சமமாக இருக்குமானல் இயக்கவிசை ஒருமிப்பு இருக்கிறதென்கிறோம். பல பொறியியற் அமைப்புகளில் மேலே குறிக்கப்பட்டுள்ள எல்லா விசைகளும் ஒரே நேரத்தில் தொழிற்படாமலிருக்கலாம். தொழிற்படும் விசைகளில் சில விசைகள் அளவில் சிறியனவாக முக்கியமில்லாமல் இருக்கலாம். ஆகவே, இப்படிப்பட்ட முக்கியமில்லாத விசைகளை எல்லாம் புறக்கணித்துவிட்டு அந்த அமைப்பிற்குத் தேவையானதும், முக்கியமானதுமான விசைகளை மட்டும் தேர்ந்தெடுத்து அவற்றின் விகிதங்கள் அசலிலும், மாதிரியிலும் சமமாக இருக்கும்படி செய்ய வேண்டியது அவசியம். இதுபற்றி பகுதி 6·8-ல் மேலும் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

இப்போது இயக்கவிசை ஒருமிப்பு உடைய இரண்டு உருளையைச் சுற்றி பாயும் ஓட்டத்தைக் கவனிப்போம். இது படம் 6·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. படத்தில் அசலும் மாதிரியும் காட்டப் பட்டுள்ளன.

அமைப்பில் ஒத்த புள்ளிகளான P, M-ஐ எடுத்துக் கொள்வோம். அந்தப் புள்ளிகளைச் சுற்றியுள்ள சிறிய தனிமங்களின்

இயக்கத்தை ஆராய்வோம். தனிமத்தின் எடையைப் புறக் கணித்து விட்டால், அத்தனிமம் இயக்குவதற்குக் காரணமான



படம் 6·1. அசலுக்கும் மாதிரிக்குமுள்ள தொடர்பு

அழுத்த விசையும் (pressure force), பொருண்மை, முடுக்கம் இவற்றைப் பெருக்கிவரும் சடத்துவ விசையும் தனிமத்திற் தொழிற்படவேண்டியது அவசியம். இந்த இரண்டு வகையான விசைகளைத் தவிர அத்தனிமத்தின் நிலைமைக்கேற்ப பாகுநிலை விசை, ஈர்ப்பு விசை, மீட்சி விசை, புறப்பரப்பு இழுவிசை முதலியவற்றில் ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்பட்டவை தொழிற் படவேண்டும். உருளையைச் சுற்றி பாயும் பாய்ச்சலில் பாகுநிலை விசைதான் முக்கியமான விசை எனக் கொண்டால் தனிமத்தில் தொழிற்படும் விசைகளாவன: சடத்துவ விசை, அழுத்த விசை, பாகுநிலை விசை ஆகும். அசலுக்கும், மாதிரிக்கும் இயக்கவிசை ஒருமிப்பு இருக்குமானல்,

$$\frac{(\text{சடத்துவ விசை})_{\text{மாதிரி}}}{(\text{சடத்துவ விசை})_{\text{அசல்}}} = \frac{(\text{அழுத்த விசை})_{\text{மாதிரி}}}{(\text{அழுத்த விசை})_{\text{அசல்}}}$$

$$= \frac{(\text{பாகுநிலை விசை})_{\text{மாதிரி}}}{(\text{பாகுநிலை விசை})_{\text{அசல்}}}$$

என்பது உண்மையாக இருக்கவேண்டும். இதில் அழுத்த விசை மற்றவற்றைச் சார்ந்திருப்பதால், மற்ற இரண்டு விசைகளும் ஒன்றுக்கொன்று சம விகிதத்தில் இருக்கவேண்டும். முழுமையான ஒப்புமைக்கு அந்தத் தனிமத்திற் தொழிற்படும் எல்லா விசைகளை யும் நாம் எடுத்துக்கொள்ளவேண்டும். ஆனல் அப்படிப்பட்ட, ஒப்புமையை அடைதல் நடைமுறையில் சாத்தியமல்ல. ஆகவே, முக்கியமான ஒரு விசையை மட்டும் எடுத்துக் கொள்கிறோம். இப்போது பாகுநிலை விசையை எடுத்துக்கொண்டு,

$$\left(\frac{\text{சடத்துவ விசை}}{\text{பாகுநிலை விசை}}\right)_{\text{மாதிரி}} = \left(\frac{\text{சடத்துவ விசை}}{\text{பாகுநிலை விசை}}\right)_{\text{அசல்}}$$

ஆகவே, பாகு நிலேவிசை முக்கியமாக இருக்கும்போது, அது சம்பந்தமான பரிமாணமற்ற எண்ணுன ரெயினுல்ஸ் எண் அசலிலும், மாதிரியிலும் சமமாக இருக்கவேண்டும்.

மூடிய பாய்மக் கடத்தியில் (conduit) பாய்மம் பாய்வதால் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாட்டை மாதிரிக் கணக்கு 6·4-ல்,

$$\frac{\triangle p}{\rho V^2}=\phi\left(\frac{VD\rho}{\mu},\ \frac{k}{D}\right)$$

அல்லது

$$E=\phi\left(R,\frac{k}{D}\right)$$

எனப் பார்த்தோம். இதிலிருந்து இயக்கவிசை ஒருமிப்பிற்கு மாதிரியிலும், அசலிலும் $R, \frac{k}{D}$ இவற்றின் மதிப்புக்கள் சமமாக இருக்குமாஞல் அசலும், மாதிரியும் ஒப்புமை உள்ளன எனக் கொள்ளலாம். இந்த எடுத்துக்காட்டிலிருந்து மா தி ரி ச் சோதனேக்குத் தேவையான பரிமாணமற்ற எண்களே அடைய பரிமாணப் பகுப்பாய்வு உதவுகிறது எனத் தெரிகிறது.

6·10. பரிமாணமற்ற எண்கள் (Non-dimensional Numbers)

எந்திரப் பாய்ம இயலில் பரிசோதனேக்குத் தேவையான சில முக்கியமான பரிமாணமற்ற எண்களே மட்டும் இங்கு பார்ப்போம்.

ஆய்லர் எண் (Euler Number): சடத்துவ விசைக்கும், முடுக்க விசையான அழுத்த விசைக்குமுள்ள விகிதத்தின் வர்க்கமூலம் ஆய்லர் எண் ஆகும். சுழற்சியற்ற பாய்ச்சல்களில், மற்ற விசைகள் தொழிற்படுவதில்லேயாதலால், முடுக்கமானது அழுத்த விசை வேறுபாட்டால் ஏற்படுகிறது.

$$\text{சடத்துவ விசை}=ma=\rho L^3\frac{L}{T^2}=\rho V^2L^2$$

$$\text{அழுத்த விசை}=\triangle pL^2$$

இதில் $\triangle p$ அழுத்தச் செரிவு வேறுபாடாகும். இப்போது,

$$\frac{\text{சடத்துவ விசை}}{\text{அழுத்த விசை}}=\frac{\rho V^2L^2}{\triangle pL^2}=\frac{\rho V^2}{\triangle p}=E^2$$

எனவே, ஆய்லர் எண், $E=\dfrac{V}{\sqrt{\dfrac{\triangle p}{\rho}}}$

இந்த எண் மாதிரிச் சோதனைகளில் நேரடியாகப் பயன்படுவதில்லை. ஆனால் இந்த எண் அழுத்தக் கெழுவாக உருமாறித் தோன்றி, மற்ற விசைகளின் சம்பந்தங்களை அடைய உதவுகிறது.

ஃப்ரூடு எண் (Froude Number) : புவியீர்ப்புச் சக்தியின் விளைவுகள் முக்கியமாக உள்ள இடங்களில், அதாவது கால்வாய் ஓட்டம் (open channel flow) போன்றவைகளில் சடத்துவ விசைக்கும், புவியீர்ப்பு விசைக்கும் விகிதமானது அசலிலும், மாதிரியிலும் சமமாய் இருக்கவேண்டும். இந்த விகிதத்தின் வர்க்கமூலம் ஃப்ரூடு எண்ணாகும்.

$$\frac{\rho V^2 L^2}{w L^3} = \frac{V^2}{gL}$$

$$\therefore \text{ப்ரூடு எண்},\ F = \frac{V}{\sqrt{gL}}$$

அசல், மாதிரி இவற்றிற்குள்ள திசைவேகம், நேரம், பாயுவீதம் போன்றவற்றிற்குள்ள தொடர்பை இந்த எண்ணின் மூலம் அடையலாம். ஃப்ரூடு விதியின் அடிப்படையில் மாதிரி கட்டப்படு மானால் பாகுநிலை விளைவுகளைக் குறைக்க அந்த மாதிரி அமைப்பில் ரெயினல்ஸ் எண் அதிகமாக இருக்க வேண்டும்.

மாதிரிக் கணக்கு 6·7. அசற் படகில் $\frac{1}{10}$ பங்குள்ள மாதிரிப் படகு அசலின் 6 மீ/வி திசைவேகத்திற்கு ஈடான திசைவேகத்தில் செல்லும்போது 0·1 கிமீ-எ தடைவிசைக்குள்ளாகிறது. அசலில் இதற்குச் சமமான தடைவிசை என்ன? (ஈர்ப்புவிசை முக்கியத்துவ முள்ளது எனக் கொள்க.)

ஆய்லர் எண் மாதிரியிலும், அசலிலும் ஒரே அளவினதாக இருக்கவேண்டும்.

$$\left(\frac{V}{\sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}}\right)_p = \left(\frac{V}{\sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}}\right)_m$$

ஆனால் $\rho_p = \rho_m$ ஆகவே,

$$\frac{\Delta p_p}{\Delta p_m} = \frac{V_p{}^2}{V_m{}^2}$$

இப்போது $\Delta p \times A$ விசைக்குச் சமமாகுமாதலால்,

$$\frac{F_p}{F_m} = \frac{\Delta p_p \times L_p^2}{\Delta p_m \times L_m^2} = \frac{V_p^2 L_p^2}{V_m^2 L_m^2}$$

ஃப்ரூடு விதிப்படி, $$\frac{V_p^2}{V_m^2} = \frac{L_p}{L_m}$$

எனவே, $$\frac{F_p}{F_m} = \frac{L_p^3}{L_m^3}$$

MKS முறையில் $F_p = (100)^3 \times 0{\cdot}01 = 10{,}000$ கிகிஎ $= 10$ டன்

SI முறையில் $F_p = (100)^3 \times 0{\cdot}0981 = 981000$ நி $= 98{\cdot}1$ கிநி.

மாதிரிக் கணக்கு 6·8. மாதிரி அளவுகோல் $\frac{1}{10}$ உள்ள ஒரு மாதிரிப் படகு கடலில் இழுத்துச் செல்லப்படுகிறது. அசற் படகு அலையால் ஏற்படும் தடைக்கு மட்டும் உள்ளாகிறது என எடுத்துக் கொண்டு, அசற் படகின் வேகமான மணிக்கு 10 மைல் வேகத்திற் கீடான மாதிரிப் படகின் வேகம் என்ன?

இயக்கவிசை ஒப்புமைக்கு ஃப்ரூடு விதியைப் பயன்படுத்த வேண்டும்.

$$\left(\frac{V}{\sqrt{gL}}\right)_m = \left(\frac{V}{\sqrt{gL}}\right)_p$$

$$V_m = V_p \times \sqrt{\frac{L_m}{L_p}}$$

$$= 10 \times \sqrt{\frac{1}{10}} = \sqrt{10} = 3{\cdot}16 \text{ மைல்/மணி.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 6·9. 3 மீ அகலமுள்ள ஒரு வாய்க்காலில் நீரியற் குதிப்பு (hydraulic jump) ஏற்படுமா என நீரியல்ஆய்வுக் கூடத்தில் சோதனை மூலம் அறிய வேண்டியதிருக்கிறது. அந்தக் கால்வாயில் நீரின் ஆழம் 1 மீ. நீரின் திசைவேகம் 2 மீ/வி. ஆய்வுக் கூடத்தில் $\frac{1}{10}$ அளவில் மாதிரி கட்டப்படுமானால் மாதிரி அமைப் பிற்குத் தேவையான பாயுவீதம் என்ன?

$$Q = A \times V; \; Q_p = 3 \times 2 \times 1 = 6 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

ஃப்ரூடு விதிப்படி,

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \frac{A_m \times V_m}{A_p \times V_p} = \frac{L_m^2}{L_p^2}\sqrt{\frac{L_m}{L_p}} = \frac{L_m^{\frac{5}{2}}}{L_p^{\frac{5}{2}}}$$

இப்போது, $\frac{L_m}{L_p} = \frac{1}{10}$

$$\therefore Q_m = \left(\frac{1}{10}\right)^{\frac{5}{2}} \times 6 = 0{\cdot}019 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

$$Q_m = 19 \text{ லிட்டர்/வி.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 6·10. 20 மீ அகலமுள்ள வழிகாலில் (spill-way) 1 மீ ஆழத்தில் நீர் வழியும்போது பாயுவீதம் 35 மீ³/வி ஆகும். ஆய்வுக் கூடத்தில் கிடைக்கும் பாயுவீதத்தின் உச்சவரம்பு 0·05 மீ³/வி ஆகும். இப்போது வழிகால்பற்றி சோதனை நடத்த என்ன மாதிரி விகிதத்தைக் கையாள வேண்டும்? மாதிரி அமைப்பின் உயரத்தையும், நீளத்தையும் கணக்கிடு.

$$Q_p = 35 \text{ மீ}^3/\text{வி} \qquad Q_m = 0{\cdot}05 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \frac{A_p V_p}{A_m V_m} = \frac{L_p^2}{L_m^2}\sqrt{\frac{L_p}{L_m}}$$

$$= \frac{L_p^{\frac{5}{2}}}{L_m^{\frac{5}{2}}} \text{ (ஃப்ரூடு விதிப்படி)}$$

$$\therefore \frac{L_p}{L_m} = 700^{\frac{2}{5}} = 13{\cdot}7$$

மாதிரி அமைப்பின் நீளம் $= \frac{20}{13{\cdot}7} = 1{\cdot}46$ மீ

வழிகாலின் மேல் நீரின் உயரம் $= \frac{1}{13{\cdot}7} = 0{\cdot}073$ மீ.

ரெயினுல்ஸ் எண் (Reynold's Number): எங்கு பாகுநிலை விசையின் விளைவு அதிகமாக இருக்கிறதோ அங்கு ஒப்புமைக்கு சடத்துவ விசை, பாகுநிலை விசை இவற்றின் விகிதமானது அசலிலும், மாதிரியிலும் சமமாக இருக்க வேண்டும். பாய்மத்தின் இயக்க விசைப் பாகுநிலை, சறுக்குப் பெயர்ச்சித் திரிபுவீதம் இவற்றின் பெருக்குத் தொகையானது பாகுநிலை விசையாகும். ஆகவே,

$$\frac{\rho V^2 L^2}{\mu VL} = \frac{VL}{\nu} \qquad \text{இதில் } \nu = \frac{\mu}{\rho}$$

எனவே, ரெயினுல்ஸ் எண் $R = \frac{VL}{\nu}$

இந்த எண் நிலையான குழாய் ஓட்டங்கள், ஆழமாக மூழ்கி இயங்கும் அமைப்புகளின் தன்மைகள் போன்றவற்றைப்பற்றி ஆராயப் பயன்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 6·11. ஓர் நீர்ப்புழலில் (water tunnel) 1:10 மாதிரி விகிதமுள்ள ஒரு இருபரிமாண உருளையின் உதவியால், அசலில் 0°C வெப்பநிலையில் மணிக்கு 400 கிமீ திசைவேகத்தில் வீசும் காற்றால் உண்டாகும் விளைவுகளைப் பற்றி ஆராயப்படுகிறது. மாதிரி உருளையின் விட்டம் 30 மிமீ. நீர்ப்புழலில் 40°C வெப்ப நிலையிலுள்ள நீர் எந்த வேகத்தில் மாதிரியைத் தாக்க வேண்டு மெனக் கணக்கிடு. மாதிரியில் 0·1 மீ நீளத்தில் இழுவிசை 3 கிகி இருக்குமானல் அசலில் 1 மீ நீளத்தில் என்ன இழுவிசை இருக்கும்?

மாதிரியிலும் அசலிலும் ரெயினல்ஸ் எண் சமமாக இருக்க வேண்டும்.

$$\frac{V_m d_m}{\nu_m} = \frac{V_p d_p}{\nu_p}$$

$V_p = 400$ கிமீ/மணி
$\nu_p = 0{\cdot}1302$ செமீ^{2}/வி
$\nu_m = 0{\cdot}00662$ செமீ^{2}/வி

$$V_m = \frac{d_p}{d_m}\,\frac{\nu_m}{\nu_p}\,V_p$$

$$= 10 \times \frac{0{\cdot}0062}{0{\cdot}1302} \times 400 = 203{\cdot}2 \text{ கிமீ/மணி}$$

1 மீ நீள அளவுள்ள அசல் உருளையில் ஏற்படும் விசையானது,

$$\frac{F_p}{F_m} = \frac{V_p{}^2}{V_m{}^2}\,\frac{\rho_p}{\rho_m}\,\frac{L_p{}^2}{L_m{}^2} = \left(\frac{400}{203{\cdot}2}\right)^2 \times \frac{0{\cdot}1327}{101{\cdot}1} \times 10^2 = 0{\cdot}57$$

$$F_p = 3 \times 0{\cdot}57 = 1{\cdot}71 \text{ கிகி } (16{\cdot}8 \text{ நி})$$

மாதிரிக் கணக்கு 6·12. அமுக்கமற்ற பாய்ம ஓட்டத்திற்கு நேரம், திசைவேகம், விசை இவற்றின் விகிதங்களை ரெயினல்ஸ் விதிப்படி வருவி.

$$\text{சடத்துவ விசை விகிதம்} = \rho_r V_r{}^2 L_r{}^2 = \rho_r \frac{L_r{}^4}{T_r{}^2}$$

$$\text{பாகுநிலை விசை விகிதம்} = \mu_r \frac{L_r{}^2}{T}$$

இயக்கவிசை ஒப்புமைக்கு இரண்டு விகிதங்களைச் சமனுக்கினுல்,

$$\frac{\rho_r L_r^4}{T_r^2} = \frac{\mu_r L_r^2}{T_r}$$

நேர விகிதம் $$T_r = \frac{L_r^2}{\nu_r}$$

திசைவேக விகிதம் $$V_r = \frac{l_r}{T_r} = \frac{L_r}{\frac{L_r^2}{\nu_r}} = \frac{\nu_r}{L_r}$$

விசை விகிதம் $$F_r = \rho_r \frac{L_r^4}{T_r^2} = \rho_r \nu_r^2$$

மாக் எண் (Mach Number): அழுத்த வேறுபாட்டால் குறிப்பிடத்தக்க அளவு அடர்த்தி மாறுபடுமானுல், மாதிரிச் சோதனைகளில் சடத்துவ விசைக்கும், மீட்சி விசைக்குமுள்ள விகிதத்தின் வர்க்கமூலம் அசலிலும், மாதிரியிலும் சமமாக இருக்கவேண்டும். பாய்மத்தின் மீட்சிக் குணகம், பரப்பு இவற்றின் பெருக்குத் தொகை மீட்சி விசையாகும். எனவே,

$$\frac{\rho V^2 L^2}{E L^2} = \frac{V^2}{\frac{E}{\rho}}$$

எனவே, மாக் எண் $$M = \frac{V}{\sqrt{\frac{E}{\rho}}}$$

அத்தியாயம் 1-ல் $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ என்பது ஊடகத்தில் ஏற்படும் ஒலியின் வேகம் எனப் பார்த்தோம். விமான மாதிரிகளைக் காற்றுப் புழலில் சோதிக்கவும், நீருக்கு அடியில் டார்பிடோ (torpedo) என்ற வெடிகுண்டு செல்வது பற்றி ஆராயவும், காற்றமுக்கி (air compressor) பற்றிய ஆய்வுகளிலும் இந்த மாக் எண் பயன்படுகிறது.

வெபர் எண் (Weber Number): எங்கு புறப்பரப்பு இழுவிசையின் விளைவுகள் அதிகமாக இருக்கின்றனவோ, அங்கு மாதிரிச் சோதனைகளில் வெபர் எண் பயன்படுத்தப்படுகிறது. சடத்துவ

விசை, புறப்பரப்பு இழுவிசை இவற்றின் வர்க்கமூலமே வெபர் எண்ணாகும்.

$$\frac{\rho V^2 L^2}{\sigma L} = \frac{V^2}{\frac{\sigma}{\rho L}}$$

எனவே, வெபர் எண் $$W = \frac{V}{\sqrt{\frac{\sigma}{\rho L}}}$$

கால்வாய்களில் ஏற்படும் நுண்புழை அலைகள் (capillary waves), மண்ணில் ஏற்படும் நுண்புழை இயக்கம், இடுக்குகளில் ஏற்படும் நுண்புழை ஏற்றம் இவ்வாறான நிலைமைகளைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகளில் வெபர் எண் அவசியமாகும். நுண்புழை விளைவுகளைத் தவிர்க்க மாதிரி அமைப்புகள் உருவத்தில் பெரியன வாக இருக்க வேண்டும்.

தோமா எண் (Thoma Number) : நீரானது மிகக் குறைவான அழுத்தத்தில் வளிமண்டல வெப்பநிலையில் தானாகவே ஆவியாக மாறும் இயல்புடையது எனக் கண்டோம். கொடுக்கப்பட்டுள்ள வெப்பநிலையில் பாய்ம ஓட்டத்தில் அழுத்தமானது எந்த இடத்திலும் ஆவி அழுத்தத்தை (vapour pressure) அடைந்தால், நீரானது ஆவியாக மாறுகிறது. இவ்வாறு ஆவியாக மாறும் எண்ணற்ற ஆவிக் குமிழ்கள் (vapour bubbles) நீரோட்டத்தின் அழுத்தம் அதிகமான பகுதிக்கு வந்தவுடன் எந்த விதமான முன்னறிவிப்பின்றி திடீரெனச் சுருங்கி, மறுபடியும் நீராக மாறுகிறது. இவ்வாறு ஆவிக் குமிழ்கள் நீர்த்திவலைகளாகத் திடீரென மாறுவதால் அமைப்புகளில் அதிர்ச்சி (vibration) ஏற்படுகிறது. இந்தத் திடீர் மாற்றத்தால் அதிகப்படியான அழுத்தம் உண்டாவதால் அமைப்பின் சுவர்கள் அரிக்கப்படுகின்றன. மேலும் இந்நிகழ்ச்சி நீரியல் எந்திரங்களில் ஏற்படுமானால் அதன் வழிபாயும் நீரின் வீதமும், எந்திரத்தின் திறமையும் குறைகின்றன. இந்த நிகழ்ச்சி எந்த நிலைமையில் எந்த இடத்தில் நிகழும் என்று திட்டமாகக் கொள்கை அடிப்படையில் இன்னும் அறிந்து கொள்ள முடியவில்லை. ஆகவே, சோதனை முறை மூலமே அறியவேண்டியதிருக்கிறது. அசல் எந்திரங்கள் அல்லது அசல் நீரியற் கட்டிட அமைப்புகளில் இந்த நிகழ்ச்சி எந்த நிலைமையில் ஏற்படும் எனக் கண்டறிய தோமா (Thoma) என்ற ஜெர்மானியப் பொறியாளர் ஒரு எண்ணைக் கண்டறிந்தார். அந்த எண்ணின் மதிப்பு அசலிலும் மாதிரியிலும் ஒரே அளவினதாக இருக்கும்.

மாதிரியிலும் அசலிலும் மாறுநிலை(critical value)க்குக் குறைவாக இந்த எண் இருக்கக்கூடாது. இந்த எண்ணானது,

$$\sigma = \frac{h_0 - h_v}{\frac{V^2}{2g}}$$

இதில்

σ —தோமா எண்

h_o —அழுத்தத் தலைப்பு

h_v —திரவத்தின் ஆவியழுத்தத் தலைப்பு

$\frac{V^2}{2g}$—திசைவேகத் தலைப்பு ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 6·13. ஒரு வழிகாலின் மேல் பாயும் நீரின் ஆழம் 5 மீ. பகுதி திறந்திருக்கும் வழிகால் கதவின் (spillway gate) அடியில் குழிதல் (cavitation) ஏற்படுமா என்று மாதிரிச் சோதனைகள் மூலம் தீர்மானிக்க வேண்டியதிருக்கிறது. நீர்த்தேக்கத்திலுள்ள நீரின் ஆவியழுத்தம் 55·3 மிமீ பாதரச உயமாகும். $\frac{1}{60}$ மாதிரி அளவுகோலில் கட்டப்பட்டுள்ள மாதிரி அமைப்பில் குழிதலின் விளைவுகளை உண்டாக்க என்ன அழுத்தம் வேண்டும். மாதிரிக்குப் பயன்படும் நீரின் ஆவியழுத்தம் 31·8 மிமீ பாதரச உயரமாகும்.

மாதிரியிலும் அசலிலும் தோமா எண் சமமாக இருக்க வேண்டும்.

$h_0 = 10{\cdot}33$ மீ நீர் உயரம் (வளிமண்டல அழுத்தம்)

$h_v = \frac{55{\cdot}3 \times 13{\cdot}6}{1000} = 0{\cdot}75$ மீ நீர் உயரம்

$H = 5$ மீ

ஆகவே, $\sigma = \frac{10{\cdot}33 - 0{\cdot}75}{5} = \frac{9{\cdot}58}{5} = 1{\cdot}916$

மாதிரியில், $h_v = \frac{31{\cdot}8 \times 13{\cdot}6}{1000} = 0{\cdot}43$ மீ நீர் உயரம்

$H = \frac{5}{60} = \frac{1}{12}$ மீ

எனவே, மாதிரியைச் சுற்றியுள்ள அழுத்தம் h_o-வானது

$$1{\cdot}916 = \frac{h_o - 0{\cdot}43}{\frac{1}{12}}$$

$$h_o = 1{\cdot}916 \times \frac{1}{12} + 0{\cdot}43 = 0{\cdot}59 \text{ மீ தனி நீர் உயரம்.}$$

ஆகவே, இந்த மாதிரி வழிகாலானது 0·59 மீ நீர்த் தனி உயரத்தில் அமைக்கப்பட்டால் குழிதலை ஒப்புமை செய்யமுடியும்.

ரெயினால்ஸ், ஃப்ரூடு விதிகளின் அடிப்படையில் சில அளவைகளின் மாதிரி அளவுகோல் (model scale) அட்டவணை 6·2-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. இவற்றை அடையும் விதத்திற்கு மாதிரிக் கணக்கு 6·12-ஐப் பார்க்க.

அட்டவணை 6·2

அளவைகள்	ரெயினால்ஸ் விதிப்படி	ஃப்ரூடு விதிப்படி
திசைவேகம்	$\frac{\nu_r}{L_r}$	$\sqrt{g_r L}$
நேரம்	$\frac{L_r^2}{\nu_r}$	$\sqrt{\frac{L_r}{g_r}}$
முடுக்கம் .	$\frac{\nu_2^2}{L_r^2}$	g_r
பாயுவீதம்	$L_r \nu_r$	$\frac{L_r^{\frac{5}{2}}}{\sqrt{g_r}}$
விசை	$\rho_r \nu_r^2$	$\rho_r g_r L_r^3$
அழுத்தச் செரிவு	$\frac{\rho_r \nu_r^2}{L_r^2}$	$\rho_r g_r L_r$

மாதிரிக் கணக்கு 6·14. ஒரு கால்வாயிலுள்ள சொரசொரப்பு 0·018 மிமீ ஆகும். 1·64 அளவுள்ள மாதிரியில் இந்தச் சொரசொரப்பு என்ன அளவுள்ளதாக இருக்கவேண்டும்?

மானிங் வாய்பாடுப்படி,

$$V=\frac{R^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{N}$$

இதில் V திசைவேகத்தையும், R நீரியலாரத்தையும், S சரிவையும், N சொரசொரப்பின் அளவையும் குறிக்கும். இப்போது

$$\frac{N_m}{N_p}=\frac{L_m^{\frac{2}{3}}\ V_p}{L_p^{\frac{2}{3}}V_m}$$

∴ ஃப்ரூடு விதிப்படி,

$$\frac{V_p}{V_m}=\sqrt{\frac{L_p}{L_m}}$$

$$\therefore\ \frac{N_m}{N_p}=\left(\frac{L_m}{L_p}\right)^{\frac{1}{6}}$$

∴ மாதிரிச் சொரசொரப்பின் அளவு $=0{\cdot}018\times\left(\frac{1}{64}\right)^{\frac{1}{6}}$

$=0{\cdot}009$ மிமீ.

6·9. பகுதி மூழ்கிய பொருள்கள்

கப்பலில் ஏற்படும் இழுவிசையை மாதிரியிலிருந்து தெரிந்து கொள்ள வேண்டுமானால் ஒரே சமயத்தில் ரெயினால்ஸ் விதியையும் ஃப்ரூடு விதியையும் பயன்படுத்த வேண்டியதிருக்கிறது, ஃப்ரூடு விதிப்படி,

$$\frac{V_m}{V_p}=\sqrt{\frac{L_m}{L_p}}$$

ரெயினால்ஸ் விதிப்படி,

$$\frac{V_m}{V_p}=\frac{\nu_m L_p}{\nu_p L_m}$$

எனவே, கப்பலுக்கான மாதிரி விதியானது,

$$\frac{\nu_m}{\nu_p}=\left(\frac{L_m}{L_p}\right)^{\frac{3}{2}}$$

மேலே உள்ள சமன்பாட்டைப் பூர்த்தி செய்யும்படி மாதிரிக்கான திரவத்தை எப்போதும் தேர்ந்தெடுக்க முடியாது. எனவே, மாதிரியானது எதன் விளைவு அதிகமாக இருக்கிறதோ அதற்குச் சோதிக்கப்படுகிறது. இதைக் கீழ்க்கண்ட எடுத்துக்காட்டால் விளக்குவோம்,

மாதிரிக் கணக்கு 6·15. 500 மீ நீளக் கப்பலின் மாதிரி 10 மீ நீளமுள்ளது. இந்த மாதிரியைச் சுத்த நீரில் 3 மீ/வி திசைவேகத்தில் இழுத்துச் செல்லும்போது ஏற்படும் தடைவிசை 10·5 கிகிஎ ஆகும். பரப்பில் ஏற்படும் தடையின் மதிப்பு $F=c_f AV^2$ என்ற சமன்பாட்டால் கொடுக்கப்படுகிறது. இதில் c_f என்ற தடைக் கெழுவின் மதிப்பு மாதிரியிலும், அசலிலும் முறையே 0·0025, 0·0015 ஆகும். மாதிரியில் ஈரப் பரப்பு (wetted area) 20 மீ². அந்தக் கப்பலில் ஏற்படும் மொத்த இழுவிசையையும், அதைச் செலுத்தத் தேவைப்படும் திறனையும் கணக்கிடு. கப்பலிலுள்ள எந்திரத்தின் திறம் 0·9 எனக் கொள்க.

மாதிரியின் பரப்பில் ஏற்படும் தடை

$$=0{\cdot}0025\times 20\times 3^2=4{\cdot}50 \text{ கிகிஎ}$$

அலையால் ஏற்படும் தடை $=10{\cdot}5-4{\cdot}5=5{\cdot}5$ கிகிஎ

ஃப்ரூடு விதியைப் பயன்படுத்தி,

$$\frac{(F_w)_m}{(F_w)_p}=\frac{\rho_m}{\rho_p}\left(\frac{L_m}{L_p}\right)^3$$

$$=\frac{1}{1{\cdot}04}\left(\frac{10}{500}\right)^3$$

ஆகவே, கப்பலில் ஏற்படும் அலை இழுவிசை $=5{\cdot}5\times\left(\frac{500}{10}\right)^3\times 1{\cdot}04$

$$=7{,}15{,}000 \text{ கிகிஎ}$$

இப்போது

$$A_p=50^2\times 20=50{,}000 \text{ மீ}^2$$

$$V_p^2=50V_m^2=50\times 3^2$$

$$V_p=21{\cdot}15 \text{ மீ/வி}$$

கப்பலின் பரப்பில் ஏற்படும் தடைவிசை

$$=0{\cdot}0015\times A_p\times V_p^2$$

$$=0{\cdot}0015\times 50000\times 21{\cdot}15^2$$

$$=33750 \text{ கிகிஎ}$$

வினை $=(7{,}15{,}000+33{,}750)\times 21{\cdot}15$

$$=15{\cdot}8\times 10^6 \text{ மீ-கிகிஎ/வி}$$

பரிதிறன் $=\dfrac{15{\cdot}8\times 10^6}{0{\cdot}9\times 75}=23{\cdot}4\times 10^4$

6·10. உருத்திரிந்த மாதிரிகள் (Distorted Models)

ஆறுகள், துறைமுகங்கள் போன்றவைகளில் மாதிரிகளில் கிடை அளவு எந்த விகிதத்திற்குக் குறைக்கப்பட்டிருக்கிறதோ அதே விகிதத்திற்குச் செங்குத்து அளவும் குறைக்கப்பட்டால் அந்த மாதிரிகளில் செங்குத்து ஆழங்கள் மிகக் குறைவாக இருக்கும். அவ்வளவு குறைவான ஆழங்கள் உள்ள மாதிரிகளில் பிழையின்றி சோதனைகள் நடத்துவது கடினம். ஆகவே, செங்குத்து அளவை அதிகரிக்க வேண்டிய அவசியமேற்படுகிறது. எனவே, இப்படிப்பட்ட மாதிரிகளில் கிடை, செங்குத்து என இரண்டு வித மாதிரி அளவுகோல்கள் கையாளப்படுகின்றன. இவ்வாறு இரண்டு வித அளவுகோல்களை நிலையற்ற அடித்தளமுடைய (movable bed), நிலையான அடித்தளமுடைய (fixed bed) மாதிரிகளில் பயன்படுத்தலாம். இப்படி இரண்டுவித மாதிரி அளவுகோல்களைப் பயன்படுத்துவதின் அனுகூலங்களாவன: (1) அடித்தளங்களிலுள்ள மண்ணை நகரச் செய்யத் தேவையான இழுவிசை உண்டாகிறது. (2) ஆழங்களின் மதிப்பு அதிகமாக இருக்குமாதலால், அவற்றை பிழையில்லாமல் அளக்க முடியும். (3) மாதிரி அமைப்பில் நீரோட்டமானது கொந்தளிப்புத் தன்மையுடையதாக இருக்க வேண்டியது அவசியம். ஆழம் அதிகமாவதால் ரெயினல்ஸ் எண்ணின் மதிப்பு அதிகமாகிறது. எனவே, கொந்தளிப்பு ஓட்டம் ஏற்படுவது சாத்தியமாகிறது. (4) புறப்பரப்பு இழுவிசையின் விளைவுகள் புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு சிறியனவாக இருக்கும் அல்லது அவ்விளைவுகள் ஏற்படாது. அதேபோல் பிரதியனுகூலங்களாவன: (1) உருத்தரிந்த மாதிரிகளில் சொரசொரப்பு அதிகமாக இருக்குமாதலால், திசைவேகப் பகிர்வு, அழுத்தப் பகிர்வு முதலியன மிகத் திரிந்து காணப்படுகின்றன. (2) கரைகள் மிகச் செங்குத்தாக இருக்க வேண்டியதிருப்பதால் மாதிரி அமைப்புகளைக் கட்டுவது கடினம். (3) அலைகள், அலைகளின் விளைவுகளை மாதிரி மூலம் கண்டறிவது முடியாது. (4) அசல் அமைப்பிலிருந்து தேவையான புள்ளி விபரங்கள் பல நிலைமைகளுக்குக் கிடைக்காவிட்டால், மாதிரி அமைப்பைச் சரியாக நிர்ணயிக்க முடியாது. (5) மாதிரிச் சோதனையின் முடிவுகளை அசலில் பயன்படுத்தும் போது அவற்றை இடைச் செருகவோ (interpolate) அல்லது வெளிச்செருகவோ (extrapolate) முடியாது.

நிலையற்ற அடித்தளங்களை உடைய மாதிரி அமைப்புகளிலிருந்து, அசல் அமைப்பில் பொதுவாக என்ன நிகழக்கூடும் என அறிய முடியுமேயல்லாது, எவ்வளவு, எந்த இடத்தில் நிகழும் என்று திட்டமாகக் கூறமுடியாது.

உருத்திரிந்த மாதிரிகளில் பயன்படுத்தப்படும் சில அளவுகோல் விகிதங்கள் கீழே வருவிக்கப்பட்டுள்ளன.

கிடைஅளவுகோல் $1:x$ ஆக இருக்கட்டும். இப்போது

$$\frac{L_m}{L_p} = \frac{1}{x}$$

செங்குத்து அளவுகோல் $1:y$ ஆக இருக்கட்டும். இப்போது

$$\frac{h_m}{h_p} = \frac{1}{y}$$

எனவே,

$$\frac{\text{செங்குத்து அளவுகோல்}}{\text{கிடை அளவுகோல்}} = \frac{y}{x}$$

இப்போது

$$\frac{V_m}{V_p} = \sqrt{\frac{h_m}{h_p}} = \frac{1}{\sqrt{y}}$$

$$\frac{A_m}{A_p} = \frac{b_m}{b_p}\frac{h_m}{h_p} = \frac{1}{x}\frac{1}{y} = \frac{1}{xy}$$

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \frac{A_m V_m}{A_p V_p} = \frac{1}{xy^{\frac{3}{2}}}$$

$$\frac{T_m}{T_p} = \frac{\frac{L_m}{V_m}}{\frac{L_p}{V_p}} = \frac{\sqrt{y}}{x}$$

$$\frac{S_m}{S_p} = \frac{\frac{h_m}{L_m}}{\frac{h_p}{L_p}} = \frac{x}{y}$$

$$\frac{N_m}{N_p} = \left(\frac{R_m}{R_p}\right)^{\frac{2}{3}}\left(\frac{S_m}{S_p}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{V_p}{V_m}\right) = \frac{1}{y^{\frac{2}{3}}}\left(\frac{x}{y}\right)^{\frac{1}{2}} y^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{x^{\frac{1}{2}}}{y^{\frac{2}{3}}}$$

பாயுவீதம், நேரம், சரிவு போன்ற நீரியற் அளவைகளையும் திரித்து மாதிரிகளை அமைக்கலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 6·16. 300 மீ நீளம் 4 மீ உயரமுள்ள ஒரு அணைக்கட்டில் 1 மீ உயரத்தில் 500 மீ³/வி அளவு நீர் வழிந்தோடுகிறது. இந்த அணைக்கட்டின் மாதிரியை ஆய்வுக்கூடத்தில் 0·6 மீ அகலம், 0·3 மீ உயரமுள்ள ஓர் நீர்க்காலில் (**flume**) கட்ட வேண்டியிருக்கிறது. ஆய்வுக் கூடத்திலுள்ள அதிகப்படியான பாயுவீதம் 0·15 லி/வி ஆனால், இந்த மாதிரி அமைப்பின் கிடை, செங்குத்து அளவுகோல்கள் என்ன ?

மாதிரியிலும், அசலிலும் சொரசொரப்புத் தன்மைகள் ஒத்தனவாக இருக்கின்றன என எடுத்துக்கொள்வோம். நீர்க்காலின் அகலம் 0·6 மீ. அணைக்கட்டின் நீளம் 300 மீ. நீர்க்காலின் முழு அகலத்திற்கும் மாதிரியைக் கட்டினால் கிடை அளவுகோல் : 1 500. செங்குத்து அளவுகோல் $\frac{1}{y}$ ஆக இருக்கட்டும்.

$$Q_p = 500 \text{ மீ}^3/\text{வி} \qquad Q_m = 15 \text{ லி/வி}$$

$$\frac{Q_m}{Q_p} = \frac{A_m V_m}{A_p V_p} = \frac{A_m}{A_p}\left(\frac{R_m}{R_p}\right)^{\frac{2}{3}}\left(\frac{S_m}{S_p}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{15}{500{,}000} = \frac{1}{500y}\left(\frac{1}{y}\right)^{\frac{2}{3}}\left(\frac{500}{y}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{1}{y} = \left(\frac{15\sqrt{500}}{500{,}000}\right)^{\frac{6}{13}} = \frac{1}{29}$$

$$\text{செங்குத்து அளவுகோல்} = \frac{1}{29}$$

$$\text{ஆகவே, மாதிரியின் உயரமானது} = \frac{400}{29} = 13{\cdot}8 \text{ செமீ.}$$

இது நீர்க்காலின் ஆழத்திற்குக் குறைவாக இருப்பதால் இந்த மாதிரி அமைப்பு சாத்தியம்.

6·11. மாதிரிச் சோதனையின் கட்டுப்பாடுகள்(Limitations of Model Study)

நீரியல், பாய்ம எந்திரவியல் இவற்றின் அடிப்படைக் கொள்கைகளின் உதவியால் மாதிரிச் சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் புள்ளி விபரங்களை நாம் விளக்க அல்லது அறிய முயல வேண்டும். எந்த மாதிரியும் முழுக்க முழுக்க ஒப்புமை உடையதல்ல. எல்லா மாதிரி அமைப்புகளிலும் இயக்கவிசை ஒருமிப்பை

பகுதியளவே அடையமுடிகிறது. உருத்திரிந்த மாதிரிகளில் உருவ ஒருமிப்பைக்கூட அடைய முடிவதில்லை. ஆகவே, மாதிரிகளுக்கும் அசல்களுக்குமிடையே அளவுகோல் விளைவு (scale effect) என்று அழைக்கப்படும் திரிபு நிகழ்வது இயல்பே. அளவுகோல் விளைவின் மதிப்பை அனுபவத்திலும், மாதிரியை அமைப்பதில் எடுத்துக் கொண்ட தற்கோளிலிருந்தும் நிதானிக்க முடியும்; துல்லியமாக மதிப்பை அடைய முடியாது. பகுதி மூழ்கியுள்ள அமைப்புகளைப் பற்றிய மாதிரிச் சோதனைகளில் கொள்கை அடிப்படையான புள்ளி விபரங்களையும் பயன்படுத்த வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது என மாதிரிக் கணக்கு 6·15-ல் பார்த்தோம். மாதிரி அமைப்பின் அளவும் மிக முக்கியம்; மிகச் சிறிய மாதிரி அமைப்பை நிர்மாணிக்க செலவு குறைவாக ஆனாலும், அவை உண்மை நிலையை விளக்க முடியாமல் போகலாம். நீரியற் எந்திரங்களின் மாதிரிகளைச் செய்யும்போது, அவற்றின் சுழலும் பாகங்கள் 250 மிமீ விட்டத்திற்குக் குறைவாக இல்லாமல் இருக்க வேண்டும். மிகச் சிறிய மாதிரி அமைப்புகளில் ஒப்புச் சொரசொரப்பு அசலை விட அதிகமாகிறது. அதனால் உராய்வால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு மாதிரிகளில் அதிகமாகி அவற்றின் திறம் குறையலாம். இந்த நிலைமை நீரியற் எந்திரங்கள் பற்றிய மாதிரிகளில் நிகழ்கிறது.

6·12. மாதிரி அளவுகோலைத் தேர்ந்தெடுத்தல்

மாதிரி அளவுகோல் அல்லது மாதிரி அளவுவீதம் சோதனைக் கூடத்திலுள்ள வசதிகளைப் பொருத்தது. சோதனைக்கூடத்தில் இட அமைப்பு உச்சப் பாயுவீதம், தலைப்பு, அளக்கும் கருவிகளின் துல்லிதம் இவற்றைப் பொருத்தது. இவற்றின் சில அம்சங்கள் அங்காங்கே மாதிரிக் கணக்குகளில் விளக்கப்பட்டுள்ளன.

நீரியற் கட்டட அமைப்புகளில் மாதிரி விகிதம் 1:10 முதல் 1·100 வரை கையாளப்படுகிறது. துறைமுகம், நதி போன்ற வற்றிற்குக் கிடை அளவுகோல் 1:50 முதல் 1:10,000 வரையும், செங்குத்து அளவுகோல் 1:10 முதல் 1:100 வரையும் இருக்கலாம். பொதுவாக கிடை, செங்குத்து அளவுகோல்களின் வேறுபாடு 2 முதல் 10 மடங்குக்கு அதிகமில்லாது இருத்தல் நலம். வேறு வழியில்லாத நிலைமைகளுக்கு மட்டும் அதைவிட அதிகமான வேறுபாடு கையாளப்படுகிறது.

நிலையற்ற அடித்தளங்களையுடைய மாதிரி அமைப்புகளில் இழுவிசையும், கொந்தளிப்புத் தன்மையும் பெரிய பங்கு பெறுகின்றன. பொதுவாக, இழுவிசைக்குத் தேவையான கன

மில்லாத சோதனைப் பொருள்கள் கிடைப்பதில்லை. ஆகவே, மாதிரி அமைப்புகளில் இழுவிசையின் மதிப்பை அதிகரிக்க மாதிரி அமைப்பையே சாய்க்கலாம். பாயுவீதம், நேரம், சரிவு முதலிய வற்றை மாற்றி மாற்றி சோதனைகள் மூலம் மாதிரி அளவு கோல்கள் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன. இதற்கு ஆழ்ந்த அனுபவமும் தீர்ந்த அறிவும் அவசியம். இப்படிப்பட்ட மாதிரி அமைப்புகளை உண்டாக்குவது இன்னும் ஒரு 'கலை'யாகவே இருக்கிறது. இவ்வாறு மாதிரி அளவுகோல்களைச் சோதனைகளின் அடிப்படையில் நிர்ணயிப்பதற்குச் சோதனைமுறை எனப்பெயர்.

பயிற்சிக் கணக்குகள்

6·1. கீழ்க்கண்டவற்றின் பரிமாணங்களைத் தீர்மானி:

$$\frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{N}, \frac{2F}{\rho A V^2}, \frac{P}{l \mu V}, \frac{V\mu}{\omega^2 D^3 \rho}, \frac{VD\rho}{\mu}$$

6·2. ஒரு குழாயில் பாய்ந்து கொண்டிருக்கும் பாய்மத்தைத் திடீரென்று நிறுத்துவதால் ஏற்படும் அழுத்த உயர்வானது, அப்பாய்மத்தின் அடர்த்தி, திசைவேகம், அந்தப் பாய்மத்தில் ஏற்படும் ஒலிவேகம் இவற்றைச் சார்ந்தது. பரிமாணப் பகுப்பாய்வு முறையில் அவற்றின் சார்பை வருவி.

6·3. ஒரு சிறிய விட்டமுள்ள குழாயில் ஏற்படும் நுண்புழை ஏற்றமானது திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசை, அடர்த்தி, புவியீர்ப்பு முடுக்கம் முதலியவற்றை சார்ந்தது. இது பற்றிய சோதனையை எவ்வாறு நடத்தி ஒழுங்கு படுத்துவாய் என்பதை விவரி.

6·4. ஒரு தகடானது முழுவதும் மூழ்கிய நிலையில் நீரில் இழுத்துச் செல்லப்படுகிறது. இந்த இழுவிசையானது, நீரின் அடர்த்தி, பாகுநிலை, இழுத்துச் செல்லப்படும் வேகம், தகட்டின் பரப்பு இவற்றைப் பொருத்தது. சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் புள்ளி விபரங்களை எவ்வாறு வரைபடங்கள் மூலம் விளக்குவாய்?

6·5. ஒரு குழாயில் ஏற்படும் படல ஓட்டத்தினால் l நீளத்தில் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடு Δp ஆகும். இந்த அழுத்த வேறுபாடானது, பாய்ம இயக்கவிசைப் பாகுநிலை, சராசரித் திசைவேகம் இவற்றை சார்ந்திருக்குமானால் இந்த வேறுபாடுகளுக்கிடையேயுள்ள சார்பைக் காண்.

6·6. ஒரு டர்பைனில் (turbine) ஏற்படும் இரட்டைத் திருப்பு திறனுனது பாயுவீதம் Q, தலைப்பு h, கோணத் திசை வேகம் ω, அலகு பருமனெடை w, திறம் η இவற்றைப் பொருத்தது. இரட்டைத் திருப்புதிறனுக்கான சமன் பாட்டை வருவி.

6·7. படல ஓட்டத்தின் நிலைப்பாடானது (stability) பாய்மத் தின் அடர்த்தி ρ, இயக்கவிசைப் பாகுநிலை μ, திசை வேகச் சரிவு, எல்லையிலிருந்து உள்ள தூரம் இவற்றைப் பொருத்தது எனக் கருதப்படுகிறது. பரிமாணப் பகுப் பாய்வின் மூலம் நிலைப்பாட்டு எண்ணை வருவி.

6·8. ஒரு காற்றூடி(fan)யின் திறமான η, அக்காற்றூடி கடத்தும் பாய்மத்தின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலை μ, அடர்த்தி ρ, கோணத் திசைவேகம் ω, சுழலியின் விட்டம் D, பாயுவீதம் Q இவற்றைப் பொருத்தது. η-வைப் பரிமாணமற்ற எண்களால் விளக்குக.

6·9. D விட்டமுள்ள குழாயின் வழியாகப் பாயும் பாய்மத்தின் வீதத்தை அளக்க வெஞ்சுரிமானி பயன்படுத்தப்படுகிறது. அந்த மானியின் தொண்டையின் விட்டம் d. அந்த மானியின் நுழைவாயிலுக்கும் தொண்டைக்குமுள்ள தூரம் l. சொரசொரப்புக் கெழு k. பாய்மத்தின் அடர்த்தி ρ, இயக்கவிசைப் பாகுநிலை μ ஆகும். அந்த மானியின் பாயுவீதத்தைக் கட்டுப்படுத்தும் பரிமாண மற்ற எண்களை வருவி.

6·10. மையம் விட்டு விலகும் காற்றூதி (centrifugal blower) ஒரு குறிப்பிட்ட கோணத் திசைவேகத்தில் சுழல்கிறது. காற்றின் அமுக்கத்தையும் எடுத்துக் கொண்டு அமைப் பில் ஒத்த ஊதிகளில் பரிசோதனை நடத்தும் முறையை விளக்குக.

6·11. ஒரு பாய்மப் பொருத்தி (fluid coupling) கடத்தும் இரட்டைத் திருப்புதிறனின் அளவானது பாய்மத்தின் அடர்த்தி ρ, இயக்கவிசைப் பாகுநிலை μ, பாய்மத்தின் கன அளவு V, கோணத் திசைவேகம் ω, பொருத்தியின் விட்டம் D, நழுவல் (slip) s இவற்றைச் சார்ந்தது. இரட்டைத் திருப்புதிறனுக்கும், மற்றவற்றிற்குமுள்ள சார்பை வருவி.

6·12. ஒரு கடற்சுவரின் மாதிரி 1:20 அளவு விகிதத்தில் கட்டப் பட்டுள்ளது. மாதிரி அமைப்பில் 1 மீ நீளத்தில் ஏற்படும் விசை 50 கிகிஎ ஆனால், இந்த விசை அசலில் எந்த அளவில் இருக்கும்?

6·13. ஒரு நதியிலுள்ள பாலத்தூணின் (pier) அகலம் 1 மீ. நதியில் நீர் 3 மீ ஆழத்தில் 2·5 மீ/வி திசைவேகத்தில் ஓடிக் கொண்டிருக்கிறது. 1:10 மாதிரி அமைப்பில் இதற்குச் சமமான திசைவேகம் என்ன? அந்தப் பாலத் தூணில் ஏற்படும் அழுத்த விசையின் மதிப்பு மாதிரியில் 0·3 கிகிஎ (2·9நி) ஆனால், அசலில் அதற்கு ஈடான விசை என்ன?

6·14. கணக்கு 6·13-ல் மாதிரியில் பாலத்தூணிலுள்ள பின் னுயர்வு(afflux) 1 மிமீ என்றிருந்தால் அசலில் எவ்வள வாக இருக்கும்?

6·15. 1:20 மாதிரி அளவுகோல் உள்ள மாதிரி அசைவிலாக் குட்டையில் (stilling basin) நீரியிற் குதிப்பு 0·2 மீ உயர முள்ளது. அசலில் நீரியிற் குதிப்பின் உயரமென்ன? மாதிரியில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு 0·1 பரி திறனானால் (0·07 கிவா) அசலில் அதன் மதிப்பு என்ன?

6·16. 1:8 மாதிரி அளவுகோலுள்ள கப்பல் சுத்தநீரில் 2·5 மீ/வி வேகத்தில் செல்லும் போது ஏற்படும் அலைத் தடைவிசை 2 கிகிஎ ஆகும். மாதிரியிலுள்ள இந்தத் திசைவேகத் திற்கு ஈடான திசைவேகம் அசலில் என்ன? கப்பல் கடலில் செல்லும்போது ஏற்படும் அலைத் தடைவிசை என்ன?

6·17. 0·5 தொண்டை விகிதமுள்ள வெஞ்சுரிமானியில் 3·0 மீ/வி திசைவேகத்தில் 20°C வெப்பநிலையிலுள்ள நீர் பாய் கிறது. இந்த மானியின் குணங்களை மாதிரிச் சோதனை கள் மூலம் அறிய வேண்டியதிருக்கிறது. சோதனைக் கூடத்திலுள்ள குழாயின் விட்டம் 0·15 மீ ஆக இருக்கு மானால், அக்குழாயின் (1) 20°C நீர் (2) 30°C காற்று இவற்றை பாய்மமாக என்ன திசைவேகங்களில் செலுத்த வேண்டும்?

6·18. ஒரு மாதிரியானது காற்றுபுழலில் 90 மீ/வி வேகக் காற்றில் (20°C) சோதிக்கப்படுகிறது. அதே

அமைப்பை நீரினுள் இழுத்துச் சென்றால், அந்த நிலையை உண்டாக்கத் தேவைப்படும் வேகம் என்ன? நீரின் வெப்பநிலை 25°C.

6·19. ஒரு பெரிய காற்றூதியின் தன்மைகளை அறிய (காற்றின் வெப்பநிலை 20°C) அதில் $\frac{1}{20}$ வடிவ அமைப்பில் ஒத்த நீர்பம்பு (நீரின் வெப்பநிலை 20°C) பயன்படுத்தப்படுகிறது. மாதிரிக்கும் அசலுக்குமுள்ள திறன் கெழுக்களின் விகிதத்தைக் காண்.

6·20. 254 மிமீ விட்டமுள்ள முன்தள்ளு சுழலி நிமிடத்திற்கு 100 சுற்றுகள் சுற்றும்போது நீரை 1·3 கிமீ/மணி வேகத்தில் கடத்துகிறது. அந்தச் சுழலில் ஏற்படும் இரட்டைத் திருப்புதிறன் 1240 மீ-கிகிஎ ஆகும். அமைப்பில் ஒத்த 300 மிமீ விட்டமுள்ள சுழலி காற்றை 192 கிமீ/மணி வேகத்தில் கடத்துமானால் அச்சுழலி நிமிடத்திற்கு எத்தனை சுற்றுகள் சுற்ற வேண்டும்? அந்தச் சுழலியில் ஏற்படும் இரட்டைத் திருப்புதிறன் என்ன? காற்றின் எடை 1·20 கிகிஎ/மீ^{3}.

6·21. ஒரு அமைப்பில் உண்டாகும் அலை நேரம் (wave period) 20 வினாடிகளாகும். இப்போது $\frac{1}{25}$ மாதிரியில் ஏற்படும் அலை நேரம் என்ன?

6·22. ஒரு நதியின் முகவாய் மாதிரியின் கிடை அளவுகோல் 1:6000 ஆகும். அந்த மாதிரியில் ஏற்படும் வேலை அலைவு நேரம் (tide period) 90 வினாடிகள். இதற்குச் சமமான வேலை அலைவு நேரம் அசலில் 12 மணியாகுமானால், அந்த மாதிரியின் செங்குத்து அளவுகோல் என்ன?

6·23. 1000 மீ அகலமுள்ள ஒரு ஆழமற்ற நதியில் 300 மீ^{3}/வி அளவிற்கு நீரோடும்போது அதில் ஆழம் 3 மீ. இந்த நதியின் மாதிரி 1;1000 கிடை, 1:50 செங்குத்து அளவுகோல்களால் கட்டப்பட்டது. நதியின் அடித்தளச் சொரசொரப்பைக் குறிக்கும் எண்ணான N-ன் மதிப்பு 0·025 ஆக இருக்குமானால், மாதிரியில் N-ன் மதிப்பு என்ன? மாதிரியில் கொந்தளிப்பு ஓட்டம் உள்ளதா என்பதையும் சோதிக்கவும்.

6·24. 3 மீ நீளமுள்ள ஒரு ஏவுகணை (missile) 3·2 கிமீ/வி வேகத்தில் 30°C வெப்பநிலையுள்ள வளிமண்டலத்தில் செல்கிறது. $\frac{1}{8}$ அளவுள்ள மாதிரி (அ) 20°C வெப்பநிலையுள்ள கடலில் (ஆ) 20°C வெப்பநிலையுள்ள சுத்த நீரில் எந்த அளவு வேகத்திற் சென்றால் அசலின் தன்மைகளைப் பிரதிபலிக்கும்.

6·25. $\frac{1}{50}$ மாதிரி அமைப்பில் 25 மீ தலைப்புள்ள ஒரு மதகுக் கதவிற்கு அடியில் நீரோட்டத்தால் ஏற்படும் குழிதலைப் பற்றி ஆராய வேண்டியதிருக்கிறது. நீரானது 2 மீ தனி நீர் உயரத்தில் ஆவியாகும் எனக் கொண்டு குழிதலை மாதிரியில் சோதிக்கத் தேவையான அழுத்தநிலை என்ன என்பதைக் காண்.

7. பாகுநிலை ஓட்டம்
(Viscous Flow)

7·1. முன்னுரை

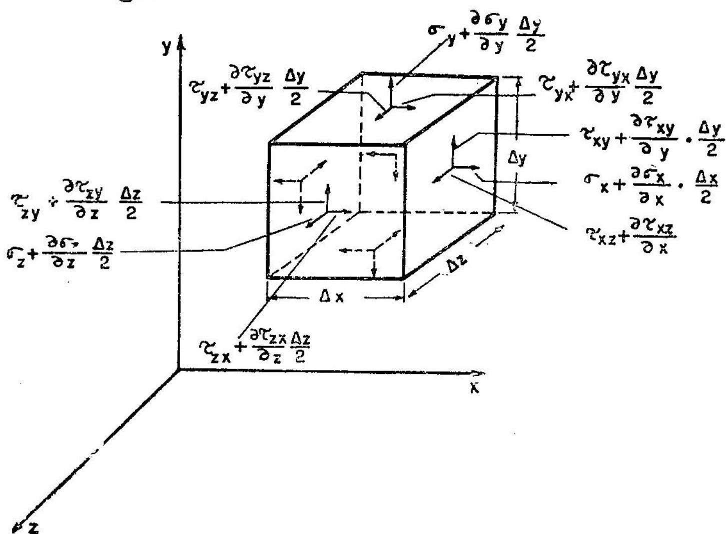
எல்லா மெய்ப் பாய்மங்களும் பாகுநிலை அல்லது பிசுபிசுப்புத் தன்மையுடையன. பாகுநிலை என்பது பாய்மத்தின் சிறப்பியல்புகளில் (properties) ஒன்று. பாய்மம் இயங்கும்போது சறுக்குத் பெயர்ச்சித் தகைவு பாகுநிலையால் ஏற்படுகிறது. இச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவால் ஏற்படும் இழப்பைத் திரும்பவும் பயனுள்ள ஆற்றலாக மாற்றமுடியாது. அத்தியாயம் 4-ல் பாகுநிலையற்ற பாய்ம ஓட்டங்களுக்கான பெர்னுலிச் சமன்பாடு என்ற ஆற்றல் சமன்பாட்டை வருவித்து அதன் பயன்களை விளக்கினோம். அந்த அத்தியாயத்தில் சில எடுத்துக்காட்டுகளிலும், கணக்குகளிலும் ஆற்றலிழப்புகள் கையாளப்பட்ட போதிலும் அவற்றின் மதிப்பை அடிப்படைக் கொள்கைகளிலிருந்து அடைதல் போன்றவைகள்பற்றி படிக்கவில்லை. இந்த அத்தியாயத்தில் அந்த அம்சங்களைப்பற்றி படிப்போம்.

பாகுநிலையுடைய மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங்களை இரு வகையாகப் பிரிக்கலாம். பாகுநிலை மிக அதிகமாகவுள்ள பாய்மத்தில் பாய்மத் துகள் நகரும்போது அதன் அருகிலுள்ள துகள்களில் உலைவு (disturbance) ஏற்படுத்தாமல் ஒரே படலத்தில் மட்டும் நகர்ந்து கொண்டே இருக்குமானால் இப்படிப்பட்ட ஓட்டத்திற்குப் படல ஓட்டம் (laminar flow) எனப் பெயர். படல ஓட்டம், நேர்கோட்டிலேதான் நிகழ வேண்டுமென்பதில்லை. பாய்மத்தின் பாகுநிலை குறைவதாலோ அல்லது சடத்துவத் தன்மை அதிகரிப்பதாலோ பாய்ச்சலானது படல நிலையிலிருந்து கொந்தளிப்பு (turbulent) நிலைக்கு மாறுகிறது. இந்த அத்தியாயத்தில்

நிலையான, அமுக்கமற்ற, நியூட்டன் பாய்மங்களின் (Newtonian fluids) படல ஓட்டங்கள்பற்றி விளக்கப்பட்டுள்ளன. நுண்துளை யுடைய ஊடகத்(porous media)திலேற்படும் பாய்ச்சல், தாங்கி களில் உயவிடுதல் முதலியன பற்றியும் விளக்கப்பட்டுள்ளன. எவ்வாறு படல ஓட்டமானது கொந்தளிப்பு ஓட்டமாக மாறு கிறது ; அந்த மாற்றத்தை விளக்கும் சில கொள்கைளும் இவ் வத்தியாயத்தின் முடிவில் விவரிக்கப்பட்டுள்ளன.

7·2. படல ஓட்டத்தில் இயக்கச் சமன்பாடுகள்

அத்தியாயம் 4-ல் ஒரு இழைக்கோட்டில் ஏற்படும் இயக்கம் பற்றிய இயக்கச் சமன்பாட்டை வருவித்து, தேக்காட்டின் ஆயக் கூறுகள் (Cartesian coordinates) மூன்றிலும் பாகுநிலையற்ற பாய்ச்சல்களுக்கான இயக்கச் சமன்பாடுகளை வருவித்தோம். இப்போது எல்லா நிலைமைகளும் பொருந்தும் இயக்கச் சமன் பாட்டை வருவிப்போம்.



படம் 7·1. பாய்மத் தனிமத்திற் தொழிற்படும் விசைகள்

முடுக்கத்திற்குட்பட்டுள்ள பாய்மத்தில் $\Delta x \, \Delta y \, \Delta z$ கன அளவுள்ள ஒரு தனிமத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். இந்தத் தனிமத்தில் தொழிற்படும் விசைகளாவன: எல்லாப் பக்கங் களிலும் செயற்படும் நேர்குத்து விசைகள், அந்தத் தனி மத்தின் ஒப்புத் திசைவேகத்தால் அதன் எல்லாப் பக்கங்களிலும் ஏற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசைகள், அந்தத் தனிமத்தின் உருவ

விசை (body force) என்பவைகளாகும். இங்கு உருவ விசை என்பது தனிமத்தின் எடையைக் குறிக்கும். இந்த உருவ விசையை x, y, z-திசைகளில் X, Y, Z என முறையே குறிப்பிடுவோம். படம் 7·1-ல் தனிமத்தின் எடைமையத்திலுள்ள நேர்குத்து விசைகள் σ_x, σ_y, σ_z ஆகும். இவ்விசைகள் இழுவிசைகளாக (tensile forces) இருந்தால் நேராகவும் (positive), அமுக்க விசைகளாக (compressive forces) இருந்தால் எதிராகவும் (negative) இருக்கும். மூன்று நேர்குத்தான தளங்களில் தொழிற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவுகளாவன: τ_{xy}, τ_{yx}, τ_{yz}, τ_{zy}, τ_{zx}, τ_{xz} ஆகும். இதில் முதல் பின்னொட்டு (suffix) சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு தொழிற்படும் தளத்தின் நேர்குத்துத் திசையையும், இரண்டாவது பின்னொட்டு அந்த சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவின் திசையையும் குறிக்கும். தனிமத்திற் தொழிற்படும் எல்லா விசைகளும் படம் 7·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

இந்தத் தனிமத்திற் தொழிற்படும் நேர்குத்து விசைகளின் மதிப்பு பாய்ம அழுத்தம் p, இத்தனிமம் உருமாறுவதால் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடு இவற்றின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாக இருக்கும். எனவே,

$$\sigma_x = -p + \sigma_x'$$
$$\sigma_y = -p + \sigma_y'$$
$$\sigma_z = -p + \sigma_z'$$

அழுத்தமானது தனிமத்தை நோக்கி இருப்பதால் p எதிராக இருக்கிறது. அழுத்தமானது எந்தத் திசையையும் சார்ந்ததல்ல என்பது நோக்கற்பாலது.

உந்த மாறுபாட்டுவீதம் அந்தத் திசையிலுள்ள விசைக்குச் சமமாகுவதால், x, y, z என்ற திசைகளில் முறையே இயக்கச் சமன்பாடுகள் கீழ்வருமாறு உள்ளன:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z}$$
$$= X - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \sigma_x'}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z}\right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z}$$
$$= Y - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \sigma_y'}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z}\right)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z}$$
$$= Z - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial \sigma_z'}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}\right) \quad (7\cdot1)$$

சமன்பாடுகள் 7·1-க்கு எந்தவிதமான வரம்பும் கிடையாது. அவை பொதுச் சமன்பாடுகள் ஆகும். ஆனால் இச்சமன்பாடுகளை சில குறிப்பிட்ட பொறியியற் நிலைமைகளுக்குத் தவிர மற்றவற்றிற்கு தொகையிட முடியாததால் இவற்றால் அதிகப் பயனில்லை.

திடப் பொருள்கள்பற்றிய எந்திரவியலின் (mechanics) அடிப்படையில் நியூட்டன் பாய்ம ஓட்டங்களில் ஏற்படும் தகைவிற்கும் திரிபு வீதத்திற்குமுள்ள தொடர்புகள் கீழ்க்கண்டவாறு இருக்குமென நிரூபிக்கலாம்.

$$\sigma_x' = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3}\mu(\nabla V)$$

$$\sigma_y' = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}\mu(\nabla V)$$

$$\sigma_z' = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3}\mu(\nabla V)$$

மேலும்

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}\right)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu\left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}\right)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu\left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}\right)$$

இவற்றை சமன்பாடு 7·1-ல் இட்டால்,

$$\rho\frac{Du}{Dt} = \rho X - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{3}\frac{\partial}{\partial x}(\nabla V) + \mu\nabla^2 u$$

$$\rho\frac{Dv}{Dt} = \rho Y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\mu}{3}\frac{\partial}{\partial y}(\nabla V) + \mu\nabla^2 v$$

$$\rho\frac{Dw}{Dt} = \rho Z - \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\mu}{3}\frac{\partial}{\partial z}(\nabla V) + \mu\nabla^2 w \qquad (7{\cdot}2)$$

இதில்

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u\frac{\partial}{\partial x} + v\frac{\partial}{\partial y} + w\frac{\partial}{\partial z}$$

$$\nabla V = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$$

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

மேலே உள்ளவற்றிற்கு நாவியர்-ஸ்டோக்ஸ் சமன்பாடுகள் (Navier-Stokes equations) எனப் பெயர்.

பாய்மம் அமுக்கமற்றதாக இருக்குமாஞல் $\nabla V=0$. ஆகவே, இச்சமன்பாடுகள் கீழ்க்கண்டவாறு ஆகின்றன.

$$\frac{Du}{Dt}=X-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\nu\nabla^2 u$$

$$\frac{Dv}{Dt}=Y-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\nu\nabla^2 v$$

$$\frac{Dw}{Dt}=Z-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+\nu\nabla^2 w \qquad (7\cdot3)$$

மேலே உள்ள சமன்பாடுகள் மூன்றும், தொடர்ச் சமன்பாடு ஒன்றும் பாய்மத்தின் இயக்கம்பற்றி முழுமையாக விளக்குகின்றன. பாய்ச்சலில் வேறுபடும் u, v, w, p என்ற நான்கு உறுப்புகளேயும் அடைய நமக்கு நான்கு சமன்பாடுகள் உள்ளன. ஆனல் இச் சமன்பாடுகளின் தன்மை நேர்கோடற்ற(non-linear)தாக இருப்ப தால் இவற்றை தொகுத்து விடை காண்பது எளிதல்ல. இருந்த போதிலும் சில குறிப்பிட்ட நிலைமைகளுக்கு இந்தச் சமன் பாட்டைப் பயன்படுத்தி விடை காணலாம். பின்வரும் பகுதி களில் அப்படிப்பட்ட சில நிலைமைகளைப்பற்றி படிப்போம்.

7·3. சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவிற்கும், அழுத்தச் சரிவிற்குமுள்ள தொடர்பு

மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங்களில் எல்லைகளுக்கு அருகிலுள்ள பாய்மத் துகள்கள் எல்லையின் திசைவேகத்தை உடைத்தாயிருக்கு மாதலால், எல்லைகளின் அருகே திசைவேகச் சரிவு அதிகமாக இருக்கும். ஆகவே, திசைவேக மாறுபாட்டால் ஏற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவும் அதிகமாக இருக்கும். இப்போது இரு பரிமாண, நிலையான, சீரான, அமுக்கமற்ற பாய்ச்சலில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவிற்கும், அழுத்தச் சரிவுக்குமுள்ள தொடர்பைப் பற்றி படிப்போம்.

இருபரிமாணப் பாய்ச்சலில் z-திசையில் திசைவேகமும் அதைச் சார்ந்த வகைக்கெழுக்களும் (derivatives) சுழியாகும். பாய்ச்சல் x-திசையில் கிடையாக நிகழுவதாக எடுத்துக்கொள்வோம். பாய்மத்தின் எடை ஒன்று மட்டும் உருவ விசையாக இருப்பதால் உருவ விசையின் மதிப்பு x-திசையில் சுழியாகும். ஆனல் y-திசையில் ஒரு அலகு பொருண்மையில் தொழிற்படும் உருவ விசையானது

g-க்குச் சமமாகும். பாய்ச்சல் நிலையாக இருப்பதால் திசைவேகக் கூறுகளின் மொத்த வகைக்கெழு (total derivative) சுழியாக இருக்கவேண்டும்.

$u=f(y)$-ஆக மட்டுமிருப்பதால்

$$\frac{\partial u}{\partial x}=\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}=0$$

இப்போது நாவியர்-ஸ்டோக்ஸ் சமன்பாடும் x-, y-திசைகளில் முறையே

$$0=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{\mu}{\rho}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \qquad (7\cdot4\text{-அ})$$

$$0=-g-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} \qquad (7\cdot4\text{-ஆ})$$

சமன்பாடு 7·4(ஆ)வை y-ஆல் தொகையிட்டால்,

$$p=-wy+f(x)$$

இதிலிருந்து அழுத்த வேறுபாடு y-திசையில் நீர்நிலையியல் தன்மைத்தானது எனத் தெரிகிறது. ஆகவே, $\frac{\partial p}{\partial x}$ என்பது y-திசையில் ஏற்படும் மாறுபாடுகளால் பாதிக்கப்படாததால் அதை மொத்த வகைக்கெழு $\frac{dp}{dx}$ என எழுதலாம். எனவே,

$$\frac{dp}{dx}=\mu\frac{d^2u}{dy^2} \qquad (7\cdot5)$$

சமன்பாடு 1·4-ஐ இட்டால்,

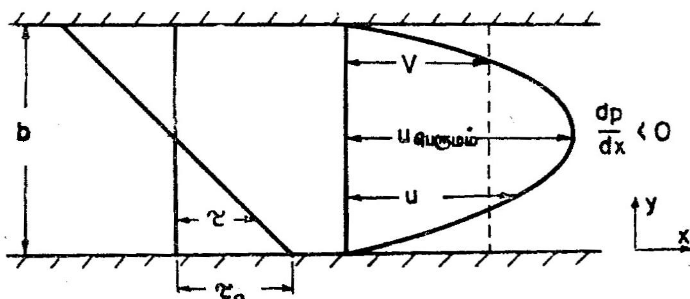
$$\frac{dp}{dx}=\frac{d\tau}{dy} \qquad (7\cdot6)$$

எனவே, படல ஓட்டத்தில் பாய்மம் பாயும் திசையில் ஏற்படும் அழுத்தச் சரிவு, அந்தப் பாய்ம திசைக்கு நேர்குத்துத் திசையில் ஏற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவின் மாற்ற வீதத்திற்குச் சமம் எனத் தெரிகிறது. $\frac{d\tau}{dy}$ என்பது x-ஐச் சார்ந்திருக்கவில்லை.

7·4. இரண்டு இணைத்தளங்களுக்கிடையே படல ஓட்டம்

இரண்டு இடம் மாறாத இணைத்தளங்களுக்கிடையே பாயும் நிலையான, அமுக்கமற்ற, இருபரிமாண படல ஓட்டத்தை

படம் 7·2-ல் உள்ளபடி எடுத்துக்கொள்வோம். சமன்பாடு 7·5-லிருந்து இந்தப் பாய்ச்சலுக்கான வகைக்கெழுச் சமன்பாடானது,



படம் 7·2. இணைத்தளங்களிடையே பாய்ச்சல்

$$\frac{dp}{dx}=\mu\frac{d^2u}{dy^2}$$

இதை இரு முறை தொகையிட்டால்,

$$u=\tfrac{1}{2}\ \frac{dp}{dx}y^2+C_1y+C_2 \tag{7·7}$$

எல்லை நிபந்தனைகளைப் பயன்படுத்தினால்,

$$u=0, \qquad y=0 \qquad \therefore C_2=0$$

மேலும், $u=0,\ y=b\ \therefore C_2=-\frac{1}{2\mu}\ \frac{dp}{dx}\ b$

ஆகவே, ஒரு புள்ளியிலுள்ள திசைவேகமானது,

$$u=-\ \frac{1}{2\mu}\ \frac{dp}{dx}(by-y^2) \tag{7·8}$$

இது ஒரு பரவளைவின் சமன்பாடாகும். பாய்மம் பாயும் திசையில் அழுத்தம் குறையுமாதலால், அழுத்தச் சரிவு நேராக இருக்கும். $y=\frac{b}{2}$ என்ற இடத்தில் திசைவேகம் உச்ச மதிப்புள்ளதாக இருக்கும். திசைவேகப் பகிர்வு பரவளைவு அமைப்புடைய

தாக இருப்பதால், சராசரித் திசைவேகம் உச்சத் திசைவேகத்தில் மூன்றில் இரண்டு பங்காகும்.

$$V=\tfrac{2}{3}u\text{ பெருமம்}=-\frac{2}{3}\frac{1}{2\mu}\frac{dp}{dx}\left(\frac{b^2}{2}-\frac{b^2}{u}\right)$$

$$=-\frac{dp}{dx}\frac{b^2}{12\eta}$$

எனவே,
$$-\frac{dp}{dx}=\frac{12\mu V}{b^2} \tag{7·9}$$

பாய்மம் பாயும் திசைவேகத்தில் 1, 2 என்ற இரண்டு வெட்டு முகங்களுக்கிடையேயுள்ள தூரம் $L(=x_2-x_1)$ ஆக இருக்குமானுல், அழுத்த வேறுபாடு (p_1-p_2) ஆனது,

$$p_1-p_2=\frac{12\mu V^2}{b^2} \tag{7·10}$$

இந்த அமைப்பே கிடைத்தளத்திற்குச் சாய்ந்திருக்குமானுல் $-\frac{dp}{dx}$ என்ற உறுப்பை $-w\frac{d}{dx}\left(\frac{p}{w}+z\right)$ என்ற உறுப்பால் இடம் பெயர்த்தால்,

$$h_1-h_2=\frac{12\mu VL}{wb^2} \tag{7·11}$$

இதில் h என்பது குழாய்மானி உயரமாகும். இந்த ஓட்டத்திற்குக் குறுக்கே உண்டாகும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவை, சமன்பாடு 7·8-ஐ, நியூட்டன் பாகுநிலே விதிக்கான சமன்பாட்டில் இட்டால் அடையலாம். எனவே,

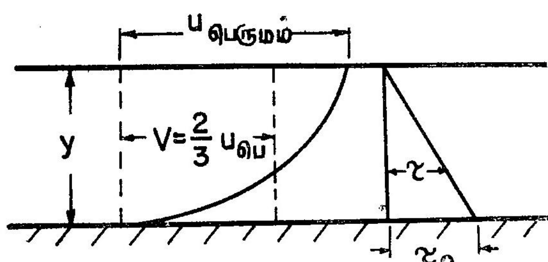
$$\tau=\mu\frac{du}{dy}=\mu\frac{d}{dy}\left[-\frac{1}{2\mu}\frac{dp}{dx}(by-y^2)\right]$$

$$\therefore\tau=-\frac{dp}{dx}\left(\frac{b}{2}-y\right)$$

எனவே, $y=\frac{b}{2}$ என்ற இடமான இணைத்தளங்களின் மத்தியில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு சுழியாகும். மற்ற இடங்களில் y-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும். உச்ச மதிப்பு இணைத்தளங்களில் ஏற்படும். அதாவது $y=0$, b-ஆக இருக்கும்போது,

$$\tau_0=\mp\frac{dp}{dx}\frac{b}{y}$$

இந்தப் பகுப்பாய்வை இருபரிமாண, நிலையான, சீரான படலக் கால்வாய் ஓட்டங்களுக்கும் பயன்படுத்தலாம். படம் 7·3-ல்



படம் 7·3. கால்வாயில் படல ஓட்டம்

உள்ள வாய்க்காலில் திரவத்தின் ஆழமானது இணைத்தளங்களுக் கிடையேயுள்ள தூரத்தில் பாதிக்குச் சமமெனக் கொண்டால், வாய்க்காலில் சராசரித் திசைவேகமானது

$$V=\frac{wy^2S_0}{3\mu} \qquad (7{\cdot}12)$$

இதில் S_0 வாய்க்கால் அடித்தளத்தில் சரிவாகும்.

7·5. கூவட் ஓட்டம் (Couette Flow)

இரண்டு இடம் மாருத இணைத்தளங்களுக்கிடையே ஏற்படும் படல ஓட்டம்பற்றி படித்தோம். இந்த இணைத்தளங்களில் ஒன்று இடம் மாருமலும் மற்ருென்று சீரான திசைவேகத்தில் நகருமானுல், இதனுல் அவ்விணைத்தளங்களிடையே ஏற்படும் பாய்ச்சலுக்குக் கூவட் ஓட்டம் எனப் பெயர். சமன்பாடு 7·7-ஐ இருபரிமாண, நிலையான, அமுக்கமற்ற ஓட்டங்களுக்குப் பயன் படுத்தலாமாதலால், இவ்வகைப்பட்ட ஓட்டங்களுக்கும் உபயோகிக்கலாம். இப்போது,

$$u=\frac{1}{2\mu}\frac{dp}{dx}y^2+C_1y+C_2$$

எல்லைச் சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்தினுல்,

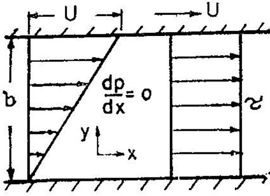
$y=0$-ஆக இருக்கும்போது $u=0 \qquad \therefore C_2=0$

$y=b$-ஆக இருக்கும்போது $u=U \qquad \therefore C_1=\left(\frac{U}{b}-\frac{b}{2}\frac{dp}{dx}\right)$

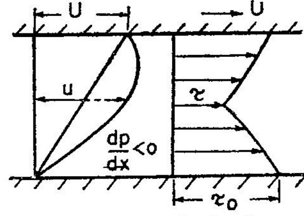
இந்த மதிப்புகளைச் சமன்பாட்டில் இட்டால்,

$$u=\frac{U}{b}y-\frac{1}{2\mu}\frac{dp}{dx}\left(by-y^2\right) \qquad (7{\cdot}13)$$

எனவே, பொதுவாக உள்ள கூவட் ஓட்டங்களில் ஏற்படும் திசை வேகப் பகிர்வு $V, \frac{dp}{dx}$ இவற்றின் மதிப்புகளைச் சார்ந்தது. $\frac{dp}{dx}$-ன் மதிப்பு நேராகவோ அல்லது சுழியாகவோ அல்லது எதிராகவோ இருக்கலாம். படம் 7·4-ல் சுழி, எதிர் அழுத்தச் சரிவுகளுக்கான



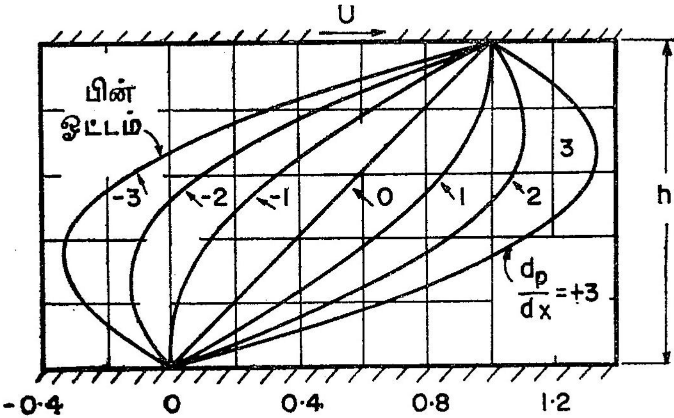
(அ) சுழி அழுத்தச் சரிவு



(ஆ) எதிர் அழுத்தச் சரிவு

படம் 7·4. கூவட் ஓட்டம்

திசைவேகப் பகிர்வும், சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவின் பகிர்வும் காட்டப்பட்டுள்ளன. படம் 7·5-ல் திசைவேகப் பகிர்வு பரிமாண மற்ற முறையில் விளக்கப்பட்டுள்ளது. அழுத்தச் சரிவு எதிராக



படம் 7·5. கூவட் ஓட்டத்தில் திசைவேகப் பகிர்வு

இருக்கும்போது இடம் மாறுத தளத்தினருகில் எதிர் திசையில் திசைவேகம் நிகழ்வது நோக்கற்பாலது. இந்த மாதிரியான ஓட்டங்களின் உபயோகங்களை தாங்கிகளில் உயவிடல்பற்றி படிக்கும்போது பார்ப்போம்.

$\frac{dp}{dx}=0$ ஆக இருக்கும் போது, இந்த ஓட்டத்தை சாதாரண கூவட் ஓட்டம் (simple Couette flow) எனச் சொல்கிறோம். இதில் திசைவேகப் பகிர்வானது,

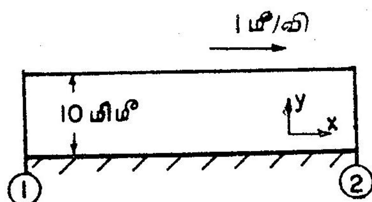
$$u=\frac{Uy}{b} \qquad (7{\cdot}14\text{-அ})$$

சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு சீராக இருக்கும். அதன் மதிப்பு

$$\tau=\frac{\mu U}{b} \qquad (7{\cdot}14\text{-ஆ})$$

எதிர் அழுத்தச் சரிவுள்ள கூவட் ஓட்டமானது, சாதாரண கூவட் ஓட்டத்தோடு, இரண்டு இடம் மாருத இணைத்தளங்களுக் கிடையே நிகழும் நிலையான படல ஓட்டத்தைக் கூட்டுவதால் ஏற்படுவதாகும். அப்படிப்பட்ட கூவட் ஓட்டத்திற்கானத் திசை வேகப் பகிர்வு, சறுக்குப் பெயர்ச்சிப் பகிர்வு முதலியன படம் 7·4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

மாதிரிக் கணக்கு 7·1. 10 மிமீ இடைவெளியுடைய இரண்டு இணைத்தளங்களில் ஒன்று இடம் மாருது இருக்கிறது. மற்றொன்று 1 மீ/வி திசைவேகத்தில் நகர்ந்து கொண்டிருக்கிறது. 100 மீ தூரத்திற்கிடையில் அழுத்த வேறுபாடு 1 கிகிஎ/செமீ² (98·1 கிநி/மீ²) ஆக இருக்குமானால், நகர்ந்து செல்லும் தளத்தில் ஏற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு என்ன? பாயுவீதம், திசைவேகப் பகிர்வு இவற்றை நிர்ணயி. இணைத்தளங்களிடையே பாயும் பாய்மத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி 0·9; இயக்கவிசைப் பாகுநிலை 1 பாய்ஸ்.



$U=1$ மீ/வி

$b=0{\cdot}01$ மீ

$\mu=1$ பாய்ஸ் $=\frac{1}{98{\cdot}1}$ கிகிஎ-வி/மீ² (0·1 நிவி/மீ²)

$\frac{dp}{dx}=-0{\cdot}01$ கிகிஎ/செமீ²/மீ $=-100$ கிகிஎ/மீ³ (—981 நி/மீ²)

MKS முறையில்

சமன்பாடு 7·13-லிருந்து திசைவேகப் பகிர்வானது,

$$u=\frac{Uy}{b}-\frac{1}{2\mu}\frac{dp}{dx}(by-y^2)$$

$$=\frac{1}{0\cdot01}y-\frac{98\cdot1}{2}\times-100\ (0\cdot01y-y^2)$$

$$=y(149-4905y)$$

ஒரு அலகு அகலத்தில் பாயுவீதம் $=\int_0^{0\cdot01}(149y-4905y^2)dy$

$$=149\left[\frac{y^2}{2}\right]_0^{0\cdot01}-4905\left[\frac{y^3}{3}\right]_0^{0\cdot01}$$

$$=58\cdot15\times10^{-4}\text{ மீ}^3/\text{வி}$$

$$=5\cdot815\text{ லி/வி}$$

மேற்தளத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு $=\mu\frac{du}{dy}$

$$=\frac{1}{98\cdot1}\ (140-9810\times0\cdot01)$$

$$=0\cdot43\text{ கிகிஎ/மீ}^2$$

SI முறையில்

$$u=\frac{1}{0\cdot01}y-\frac{981}{2\times0\cdot1}\ (0\cdot01\ y-y^2)$$

$$=y(149-4905y)$$

$$\therefore q=5\cdot815\text{ லி/வி}$$

மேற்தளத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு

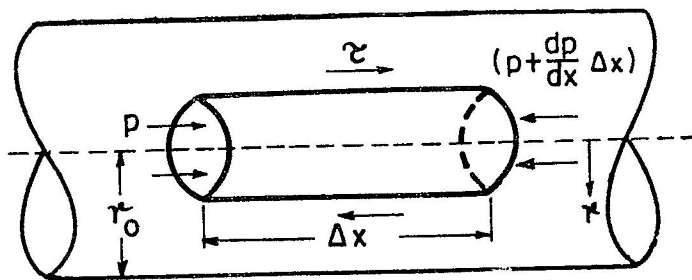
$$=0\cdot1(140-9810\times0\cdot01)$$

$$=4\cdot19\text{ நி/மீ}^2.$$

7·6. ஹேகன்-பாய்ஸேயி சமன்பாடு (Hagen-Poiseuille Equation)

ஒரு வட்டவடிவான குழாயின் வழி நிகழும் படல ஓட்டத்தின் திசைவேகப் பகிர்வு, ஆற்றலிழப்பு இவற்றை அடிப்படைத் தத்துவத்திலிருந்து வருவிப்போம். படம் 7·6-ல் காட்டப்பட்டுள்ள

கிடையான உருளை வடிவத் தனிமத்தின் நிலைப்பாட்டை (equilibrium) எடுத்துக் கொண்டு, கிடை விசைகளை சுழிக்குச் சமமாக்கினால்,



படம் 7·6. உருளைத் தனிமத்தில் விசைகள்

$$\pi r^2 p - \pi r^2 \left(p + \frac{dp}{dx} \triangle x \right) - 2\pi r \triangle x \times \tau = 0$$

சுருக்கினால்,

$$\tau = -\frac{dp}{dx} \frac{r}{2} \tag{7·15}$$

குழாயின் மத்திய கிடை அச்சில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு சுழியாகும். சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு நேர்கோட்டு விகிதத்தில் அதிகரித்து குழாயின் எல்லையில் τ_o என்ற உச்ச மதிப்பை அடைகிறது.

$$\tau_o = -\frac{dp}{dx} \frac{r_o}{2}$$

$dy = -dr$ என எடுத்துக்கொண்டால், நியூட்டனின் பாகுநிலை விதியானது,

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr} \left(\begin{array}{l} \because \quad y = r_o - r \\ \quad\;\; dy = -dr \\ \therefore \quad \frac{du}{dy} = -\frac{du}{dr} \end{array} \right) \tag{7·16}$$

இதிலுள்ள எதிர்குறியானது r-ன் மதிப்பு அதிகரிக்கும் போது u-வின் மதிப்பு குறைகிறது என்பதைக் குறிக்கிறது. சமன்பாடு 7·15-ஐச் சமன்பாடு 7·16-ல் இட்டால்,

$$-\mu \frac{du}{dr} = -\frac{dp}{dx} \frac{r}{2}$$

மேலே உள்ள சமன்பாட்டை r-க்காகத் தொகையிட்டு, $\frac{dp}{dx}$ என்பது r-ஐச் சார்ந்ததல்ல என்பதையும் எடுத்துக் கொண்டால்,

$$u=\frac{1}{4\mu}\frac{dp}{dx}r^2+C$$

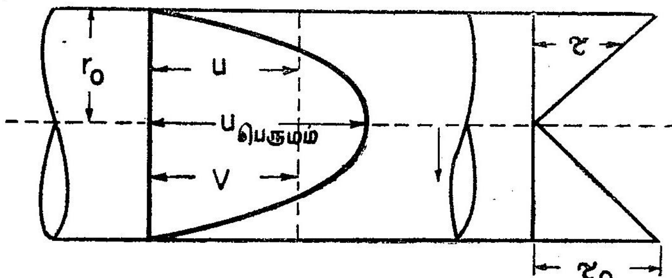
$r=r_0$ ஆக இருக்கும்போது $u=0$ என்ற எல்லை நிபந்தனையைப் பயன்படுத்தினால்

$$C=-\frac{dp}{dx}\frac{r_o^2}{4\mu}$$

எனவே,

$$u=-\frac{1}{4\mu}\frac{dp}{dx}\left(r_o^2-r^2\right) \qquad (7{\cdot}17)$$

இது பரவளைவுக்கான சமன்படாகும். ஆகவே, குழாயில் திசைவேகப் பகிர்வு கன பரவளைவு வடிவத்தை உடையது. கணிதத்தின் மூலம், சராசரித் திசைவேகம் அச்சில் நிகழும் உச்சத் திசைவேகத்தில் பாதி இருக்குமெனக் காட்டலாம் (படம் 7·7). எனவே, சராசரித் திசைவேகமான V,



படம் 7·7. வட்டக் குழாயில் திசைவேக, சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு பகிர்வுகள்

$$V=\frac{1}{2}u_{\text{பெருமம்}}=-\frac{1}{8\mu}\frac{dp}{dx}r_0^2 \qquad (7{\cdot}18)$$

$$\therefore\quad -\frac{dp}{dx}=\frac{8\mu V}{r_0^2}$$

மேலே உள்ள சமன்பாட்டைத் தொகுத்து $L\ (=x_2-x_1)$ என இட்டால்,

$$-\int_1^2 dp = \frac{8\mu V}{r_o^2}\int_1^2 dx$$

$D=2r_0$ ஆதலால்,

$$p_1-p_2=\frac{32\mu VL}{D^2} \qquad (7\cdot19\text{-அ})$$

இதற்கு ஹேகன்-பாய்ஸேயீ சமன்பாடு எனப் பெயர். குழாய் மானி உயரத்தால் இச்சமன்பாட்டை எழுதினல்,

$$h_1-h_2=\frac{32\mu VL}{wD^2} \qquad (7\cdot19\text{-ஆ})$$

இதில் w என்பது பாய்மத்தின் அலகு பருமனெடையாகும். குழாயானது நேராக இருக்கிறது என்ற தற்கோளில் மேலே உள்ள சமன்பாடு வருவிக்கப்பட்டுள்ளது. குழாய் வளைந்து இருக்குமானல், ஆற்றலிழப்பு அதிகரிக்கும். இந்தச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி அத்தியாயம் 1-ல் விளக்கப்பட்டுள்ளபடி திரவத்தின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையை (dynamic viscosity) சோதனைகள் மூலம் கண்டறியலாம். ஒரு குழாய் வழி ஏற்படும் பாயுவீதம் Q-ஆகவும், பாய்மத்தின் அலகு பருமனெடை w-ஆகவும் இருக்குமானல் ஒரு குறிப்பிட்ட நீளம் L-ல் ஏற்படும் குழாய்மானித் தலைப்பு வேறுபாடு (h_1-h_2) ஆக இருக்கும்போது ஆற்றலிழப்பால் தேவைப்படும் திறனுனது,

$$P=wQ(h_1-h_2)$$

மாதிரிக் கணக்கு 7·2. வட்டக்குழாயில் ஏற்படும் படல ஓட்டத்தில் ஆற்றல் திருத்தக்கெழு (kinetic energy correction factor) α, உந்தத் திருத்தக்கெழு (momentum correction factor) β இவற்றின் மதிப்புகளைத் தீர்மானி.

$$\text{ஆற்றல் திருத்தக்கெழு } \alpha=\frac{\int_A u^3 dA}{AV^3}$$

இப்போது

$$u=-\frac{1}{4\mu}\frac{dp}{dx}(r_o^2-r^2)$$

இதில் u என்பது r என்ற ஆரத்திலுள்ள திசைவேகமாகும். r_o என்பது குழாயின் ஆரமாகும். சராசரித் திசைவேகமானது,

$$V = -\frac{1}{8\mu}\frac{dp}{dx}r_o^2$$

ஆகவே,

$$a = \frac{\int_0^{r_o}\left[-\frac{1}{4\mu}\frac{dp}{dx}\left(r_o^2 - r^2\right)\right]^3 2\pi r\,dr}{\pi r_o^2\left(-\frac{1}{8\mu}\frac{dp}{dx}r_o^2\right)^3}$$

$$= \frac{8}{r_o^8}\int_0^{r_o}(r_o^2 - r^2)^3\, 2r\,dr$$

$$= \frac{8}{r_o^2}\left[-\frac{(r_o^2 - r^2)^4}{4}\right]_0^{r_o} = 2$$

$$\text{உந்தத் திருத்தக்கெழு } \beta = \frac{\int_A u^2 dA}{AV^2}$$

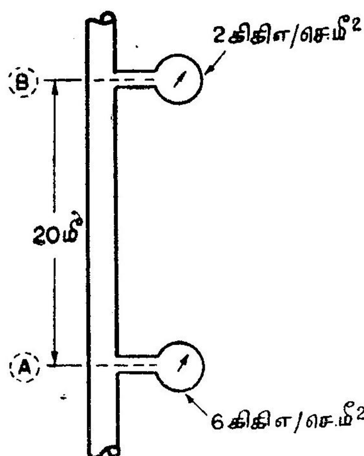
$$= \frac{\int_0^{r_o}\left[-\frac{1}{4\mu}\frac{dp}{dx}(r_o^2 - r^2)\right]^2 2\pi r\,dr}{\pi r_o^2\left(\frac{1}{8\mu}\frac{dp}{dx}r_o^2\right)^2}$$

$$= \frac{4}{r_o^6}\int_0^{r_o}(r_o^2 - r^2)^2\ 2r\,dr$$

$$= \frac{4}{3} = 1{\cdot}33.$$

மாதிரிக் கணக்கு 7·3. 0·9 ஒப்பு அடர்த்தியும், 1·5 பாய்ம இயக்கவிசைப் பாகுநிலையுமுள்ள கச்சா எண்ணெய் 20 மிமீ விட்டமுள்ள செங்குத்துக் குழாயில் பாய்கிறது. 20 மீ உயர வேறுபாட்டில் பொறுத்தப்பட்டுள்ள அழுத்தமானிகள் படத்திலுள்ளபடி

6 கிகிஎ/செமீ², 2 கிகிஎ/செமீ² காட்சிபதிவுகளைச் செய்கின்றன. பாய்ச்சலின் திசையையும் பாயுவீதத்தையும் காண்.



$S=0{\cdot}9$

$w=900$ கிகிஎ/மீ³ ($8{\cdot}83$ கிநி/மீ³)

$\mu=1{\cdot}5$ பாய்ஸ் $=\dfrac{1{\cdot}5}{98{\cdot}1}$ கிகிஎ-வி/மீ² ($0{\cdot}15$ நிவி/மீ²)

$d=0{\cdot}02$ மீ

$l=20$ மீ

$p_A=6$ கிகிஎ/செமீ² ($588{\cdot}6$ கிநி/மீ²)

$p_B=2$ கிகிஎ/செமீ² ($196{\cdot}2$ கிநி/மீ²)

MKS முறையில்

A வழியாக உள்ள கிடைக்கோட்டை மட்டமாக எடுத்துக் கொண்டால்,

A-யில் குழாய்மானி அழுத்தம் $=\dfrac{60000}{900}=66{\cdot}7$ மீ

B-யில் குழாய்மானி அழுத்தம் $=\dfrac{20000}{900}+20=42{\cdot}2$ மீ

A-யில் குழாய்மானி உயரம் B-யை விட அதிகமாக இருப்பதால், பாய்ச்சல் A-விருந்து B-யை நோக்கி நிகழுகிறது.

ஹேகன்-பாய்ஸேயீ சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி,

$$h_A - h_B = \frac{32\mu VL}{wD^2}$$

$$(66{\cdot}7-44{\cdot}2)=\frac{32\times 1{\cdot}5\times V\times 20}{98{\cdot}1\times 900\times 0{\cdot}02^2}$$

$$V=0{\cdot}9 \text{ மீ/வி}$$

ரெயினல்ஸ் எண் $R=\dfrac{VD}{\nu}=\dfrac{0{\cdot}9\times 0{\cdot}02\times 98{\cdot}1\times 900}{1{\cdot}5\times 9{\cdot}81}$

$$=108$$

R-ன் மதிப்பு 2000-க்குக் குறைவாக இருப்பதால் படல ஓட்டம் நிகழ்கிறது. இப்போது

$$Q=\frac{\pi D^2}{4}\times V=\frac{\pi\times 0{\cdot}2^2\times 0{\cdot}9}{4} \text{ மீ}^3/\text{வி}$$
$$=0{\cdot}283 \text{ லி/வி}$$

SI முறையில்

$$h_A=\frac{588{\cdot}6}{8{\cdot}83}=66{\cdot}7 \text{ மீ.}$$

$$h_B=\frac{196{\cdot}2}{8{\cdot}83}+20=42{\cdot}2 \text{ மீ.}$$

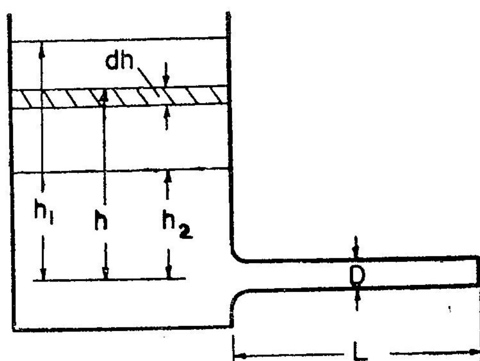
ஹேகன்-பாய்ஸேயீ சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி,

$$66{\cdot}7-42{\cdot}2=\frac{32\times 0{\cdot}15\times V\times 20}{8{\cdot}83\times 1000\times 0{\cdot}02^2}$$
$$=0{\cdot}9 \text{ மீ}^3/\text{வி.}$$

(மற்ற விடைகள் முன்னுள்ளபடி.)

மாதிரிக் கணக்கு 7·4. படத்திலுள்ள பாத்திரத்திலிருந்து திரவம் அதன் பக்கத்தில் பொருத்தப்பட்டுள்ள l நீளம் D விட்டமுள்ள குழாயின் வழியாக ஒழுகும்போது, திரவத்தின் ஆழம் h_1-லிருந்து h_2-க்குக் குறைய தேவையான நேரம் என்ன? குழாயில் படல ஓட்டம் எனக் கொள்க. நுழைவாயிலில் ஏற்படும் இழப்பு, வெளித் திசைவேகத் தலைப்பு இவற்றைப் புறக்கணிக்கவும்.

தலைப்பு h-ஆக இருக்கும்போது பாயுவீதம் dp-ஆக இருக்கட்டும். பாத்திரத்தின் பரப்பு A-ஆக இருக்குமானால் dt என்ற நேரத்தில் அதன் ஆழம் dh குறையட்டும்.



எனவே,

$$dq=-Adh=aVdt$$

இதில் $a=\frac{\pi D^2}{4}$

ஹேகன்-பாய்ஸேயீ சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$h=\frac{32\mu VL}{wD^2}$$

ஆதலால்,

$$-Adh=\frac{awD^2hdt}{32L\mu}$$

$$dt=\frac{-32\mu LAdh}{awD^2h}$$

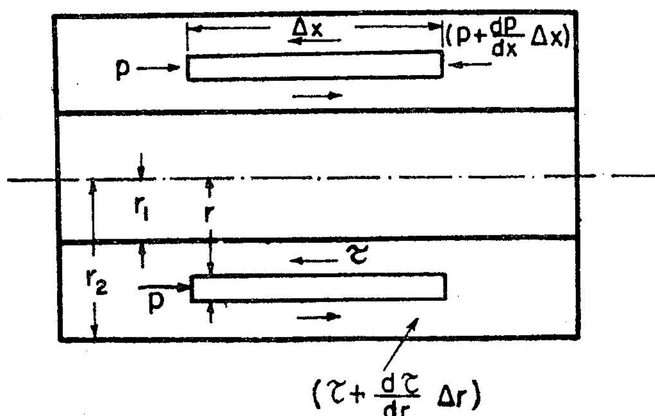
h_1-லிருந்து h_2-ஆக ஆழம் குறைய நேரம் t-ஆனுல்,

$$t=-\frac{32\mu LA}{awD^2}\int_{h_1}^{h_2}\frac{dh}{h}$$

$$=\frac{32\mu LA}{awD^2}\log_e\frac{h_1}{h_2}$$

7·7. ஒரே அச்சுள்ள வட்டக் குழாய்களில் இடைவெளியில் ஓட்டம் (Flow through a Circular Annulus)

ஒரே அச்சுள்ள, வெவ்வேருன விட்டங்களையுடைய இரண்டு நேரான, கிடைவட்டக் குழாய்களின் இடைவெளியில் படல ஓட்டம் நிகழ்வதால் ஏற்படும் திசைவேகப் பகிர்வு, கொடுக்கப் பட்டுள்ள அழுத்த வேறுபாட்டிற்கு ஏற்படும் பாயுவீதம் இவற்றை தீர்மானிப்போம். படம் 7·8-ல் உள்ளபடி r ஆரம்,



படம் 7·8. ஆட்சிபருமனின் தகைவுகள்

dv கனமுள்ள உறை போன்ற வடிவுடைய ஆட்சிபருமனை எடுத்துக் கொள்வோம். அந்த ஆட்சிபருமனில் செயற்படும்

வெளிக்கிடை விசைகளின் கூட்டுத் தொகை பாய்மத்தில் முடுக்கம் இல்லாதபோது சுழியாக இருக்கவேண்டும். எனவே,

$$p\,2\pi r\triangle r-\left(p+\frac{dp}{dx}\triangle x\right)2\pi r\triangle r+2\pi r\triangle x\,\tau$$

$$+2\pi\,(r+\triangle r)\left(\tau+\frac{d\tau}{dr}\triangle r\right)\triangle x=0$$

மிகச் சிறிய மதிப்புள்ள உறுப்புகளை புறக்கணித்துவிட்டு,

$$-\frac{dp}{dx}-\frac{d\tau}{dr}-\frac{\tau}{r}=0$$

$\frac{dp}{dx}$ ஆனது r-ஐச் சார்ந்திருக்கவில்லையாதலால்,

$$-\frac{dp}{dx}-\frac{1}{r}\,\frac{d(\tau r)}{dr}=0$$

இதில் $\tau=-\mu\frac{du}{dr}$ என்ற சயன்பாட்டை இட்டு, rdr-ஐக் கொண்டு பெருக்கினல்,

$$-\frac{dp}{dx}\,rdr+\mu d\left(r\,\frac{du}{dr}\right)=0$$

தொகையிட்டால்,

$$-\frac{dp}{dx}\,\frac{r^2}{2}+\mu r\,\frac{du}{dr}=A_1$$

இப்போது $r=r'$-ஆக இருக்கும்போது $\frac{du}{dr}=0$-ஆக இருக்கட்டும்.

$$\therefore\quad A=-\frac{1}{2}\,\frac{dp}{dx}\,r'$$

எனவே,

$$-\frac{1}{2}\,\frac{dp}{dx}\,(r^2-r'^2)+\mu r\,\frac{du}{dr}=0$$

இதை $\frac{dr}{r}$ என்ற உறுப்பால் பெருக்கி, தொகையிட்டால்,

$$-\frac{1}{2}\,\frac{dp}{dx}\left(\frac{r^2}{2}-r'^2\,\log_e r'\right)+\mu u=B$$

கீழ்க்கண்ட எல்லை நிபந்தனைகளை இட்டால்,

$$u=0,\ r=r_1.\quad \text{மேலும்}\quad u=0,\ r=r_2$$

எனவே,

$$B = -\frac{1}{2}\frac{dp}{dx}\left(\frac{r_1^2}{2} - r'^2 \log_e r_1\right)$$

$$B = -\frac{1}{2}\frac{dp}{dx}\left(\frac{r_2^2}{2} - r'^2 \log_e r_2\right)$$

மேலே உள்ள சமன்பாடுகளிலிருந்து B-யை நீக்கினுல்,

$$r' = \left[\frac{r_1^2 - r_2^2}{2\log_e \frac{r_2}{r_1}}\right]^{\frac{1}{2}}$$

ஆரம் r' என்ற இடத்தில் திசைவேகம் u உச்ச மதிப்பை உடையதாக இருக்கும். இப்போது ஆரம் r என்ற இடத்திலுள்ள திசைவேகம் u-வின் மதிப்பானது,

$$u = \frac{1}{4\mu}\left(-\frac{dp}{dx}\right)\left[r_2^2 - r_1^2 + \frac{r_2^2 - r_1^2}{\log_e \frac{r_2}{r_1}} \log \frac{r}{r_2}\right] \quad (7{\cdot}20)$$

எனவே, பாயுவீதமானது

$$Q = \int_{r_1}^{r_2} u\,dr$$

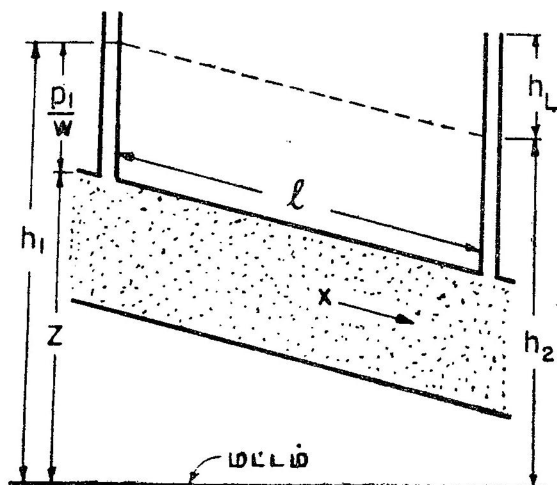
$$= \frac{\pi}{8\mu}\left(-\frac{dp}{dx}\right)\left[r_2^4 - r_1^4 - \frac{(r_2^2 - r_1^2)^2}{\log_e\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}\right] \quad (7{\cdot}21)$$

பாய்மம் ஓடும் திசையில் அழுத்தம் குறைவதால் $\frac{dp}{dx}$ எதிராக இருக்கிறது. குழாயின் அச்சு சாய்ந்திருக்குமானுல், $\frac{dp}{dx}$-க்குப் பதில் $\frac{dh}{dx}$ என்ற உறுப்பை இட வேண்டும். இதில் $h = \frac{p}{w} + z$ ஆகும்.

7·8. நுண்துளையுடைய ஊடகத்தின் வழி ஓட்டம் (Flow through Porous Media)

சீரான தானிணையற்ற மணலாலான ஒருபடித்தான ஊடகத் தின் வழி ஏற்படும் பாய்ச்சலின் தன்மைகளைத் தீர்மானிப்போம்.

இதிலுள்ள நுண்துளைகளின் வழியாக ஏற்படும் திசைவேகத்தின் அளவு மிகச் சிறியதாக இருக்கும். ஆகவே, சலன முடுக்கத்தால் (convective acceleration) ஏற்படும் சடத்துவ விளைவுகள் (inertial effects) மிகச் சிறியதாக இருக்கும். ஆதலால் படல ஓட்டம் சம்பந்தமான சமன்பாடு 7·6-ஐப் பயன்படுத்தலாம். படம் 7·9-ல்



படம் 7·9. நுண்துளை ஊடகத்தின் வழிப் பாய்ச்சல்

l என்ற தூரத்தில் ஓட்டத்தை உண்டாக்கத் தேவையான தலைப்பு $(h_1 - h_2) = h_L$ ஆகும். இந்தப் பகுதியில் ஏற்படும் மேலெழுந்த வாரான திசைவேகம் V, (superficial velocity) $\frac{Q}{A}$ ஆகும். இதில் Q பாயுவீதத்தையும் A குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பையும் குறிக்கும். ஆனால் உண்மையில் நிகழும் திசைவேகம் V-யைவிட அதிகமாக இருக்கும். உண்மைத் திசைவேகத்தின் மதிப்பு $\frac{Q}{mA}$ ஆக இருக்கும்.

இதில் m என்பது நுண்துளை அடர்த்தி (porosity) ஆகும். நுண்துளை அடர்த்தியானது நுண்துளையாயுள்ள இடத்தின் பருமனளவிற்கும், மொத்தப் பருமனளவிற்குமுள்ள விகிதமாகும்.

நிலையான படல ஓட்ட சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி,

$$h_L = \frac{k\mu V l}{w m D_g^2}$$

இதில் D_g மணற் துகளின் சராசரி விட்டத்தைக் குறிக்கும்.

எனவே,

$$V = \frac{wmD_g^2}{k\mu} \frac{h_L}{l}$$

$$\therefore \quad V = K \frac{h_L}{l} \qquad (7{\cdot}22)$$

இதில் K என்பது ஊடுபரவுந்தன்மைக் கெழு (coefficient of permeability) ஆகும். K-யின் மதிப்பு குழாய்மானித் தலைப்பின் சரிவையும், சராசரி மணற்துகளின் விட்டத்தையும், துகள்களின் நெருக்கத்தையும் (compaction) பொருத்தது. இந்தச் சமன் பாட்டிற்கு அதை முதலில் விளக்கிய விஞ்ஞானியின் பெயரால் டார்ஸி (Darcy) சமன்பாடு என அழைக்கிறோம். இச் சமன்பாடு $V = -\frac{d\phi}{dx}$ என்ற அமைப்பில் இருப்பதால், அத்தியாயம் 3-ல் விளக்கிய லெப்லாஸ் சமன்பாட்டைப் பூர்த்தி செய்யும். எனவே, நுண்துளை ஊடகத்தில் ஏற்படும் ஓட்டமானது அழுத்தப் பாய்ச்சலுக்குச் (potential flow) சமமாகும். அழுத்தப் பாய்ச்சல் களில் பயன்படுத்தப்படும் பாய்ச்சல் வலை முறையைப் பயன்படுத்தி திசைவேகப் பகிர்வு, அழுத்தப் பகிர்வு முதலியவற்றை நுண்துளை ஊடக ஓட்டத்தில் அடையமுடியும்.

பாய்ச்சலானது படலநிலையிலிருக்கும் வரை டார்ஸி சமன் பாட்டைப் பயன்படுத்தலாம். மணலாலான படுகைக்கு ரெயினல்ஸ் எண்ணானது கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$R = \frac{VD_{50}}{\nu} \qquad (7{\cdot}23)$$

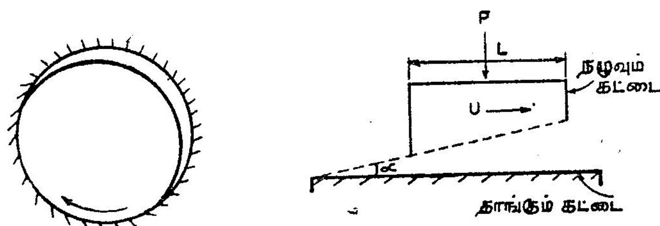
இதில் V என்பது மேலெழுந்தவாரான திசைவேகத்தையும், ν திரவத்தின் இயக்கப் பாகுநிலையையும் (kinematic viscosity), D_{50} எடை அடிப்படையில் 50 சதவிகித விட்டமுள்ள பாகமானது குறைவாக உள்ள மணல் அளவின் விட்டமாகும். டார்ஸி சமன் பாட்டை ரெயினல்ஸ் எண் 10 வரை பயன்படுத்தலாம். ரெய்னல்ஸ் எண் 1000-க்கு அதிகமானல் நுண்துளை ஓட்டம் கொந்தளிப்பு ஓட்டமாக இருக்கும்.

7·9. தாங்கிகளுக்கு உயவிடல் (Lubrication of Bearings)

ஒன்றுக்கொன்று இணைந்து நகரும் இரண்டு பாகங்கள் தேயாம லிருக்க உயவிடல் அவசியம். பொதுவாக உயவிடலுக்கு உய வெண்ணெகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவ் வுயவெண்ணெகள் அதிகப் பாகுநிலையுடையனவாக இருக்குமாதலாலும், நகரும்

இரண்டு பாகங்களுக்கிடையிலுள்ள தூரம் மிகக் குறைவாக இருக்குமாதலாலும், உயவிடல் பற்றிய கொள்கைகளை வருவிக்க படல ஓட்டம் சம்பந்தமான சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்தலாம். படம் 7·10-ல் ஒரு தட்டைத் தாங்கியின் (journal bearing) அமைப்பு பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது. இதைப் படம் 7·10-ல் உள்ளபடி தாங்கும் தகட்டில் (bearing plate) மேல் நகரும் நழுவும் கட்டை (slipper block)யாகப் பாவிக்கலாம். இந்த நழுவும் கட்டை இரு பரிமாண அமைப்பை உடையது. நாம் இந்த நழுவும் தாங்கியில் (slipper bearing) ஏற்படும் பாய்ச்சல் சம்பந்தமான குணநலன்களை வருவித்து, அவற்றிலிருந்து கொடுக்கப்பட்ட நிலைக்கு இந்தத் தாங்கி ஏற்கக்கூடும் உச்சப் பளுவை (maximum load) அடைவோம்.

ஒரு நழுவும் தாங்கியானது (slipper bearing) இடம்பெயராத கிடைத்தகட்டில் a கோணத்தில் சாய்ந்திருக்கும் குட்டையான நழுவும் கட்டை (sliding block) அமைப்பை உடையது. இந்தத் தகட்டிற்கும் நழுவும் கட்டைக்குமுள்ள இடைவெளி கட்டையின் நீளமான L-ஐவிட எப்பொழுதும் குறைவாக இருக்கும். இந்த இடைவெளி உயவெண்ணெயால் நிரப்பப்பட்டிருக்கும். படம் 7·10-ல் அப்பக்கத்திற்கு நேர்குத்தாகப் பாய்ச்சல் நிகழுவதில்லை என எடுத்துக் கொள்வோம். நம் பகுப்பாய்வின் வசதிக்காக அந்த



படம் 7·10. தட்டைத் தாங்கி

நழுவும் கட்டையை இடம்பெயராமல் இருக்கச்செய்து ஒப்புத் திசைவேக அடிப்படையில் அடித்தகட்டை நகர்த்துவோமாக. நழுவும் கட்டை சாய்ந்திருப்பதால் இடைவெளியில் பளுவின் காரணமாக அழுத்த வேறுபாடு உண்டாகிறது. இந்தப் பளுவின் மதிப்பையும், தாங்கியில் உண்டாகும் இழுவிசையையும் கணக்கிடுவோம்.

படம் 7·11-ல் இந்த நழுவும் தாங்கியின் இடைவெளியிலுள்ள உயவெண்ணெயில் ஏற்படும் திசைவேகம், அழுத்தம் முதலியவற்றின்

பகிர்வுகள் காட்டப்பட்டுள்ளன. இந்தப் பகிர்வுகளை கொள்கை அடிப்படையில் நாம் கண்டறியலாம். இந்த இடைவெளியில்

படம் 7·11. உயவிடப்பட்ட தாங்கியில் திசைவேக, அழுத்தப் பகிர்வுகள்

ஏற்படும் ஓட்டத்தைகூவட் ஓட்டத்திற்குச் சமமெனக் கொண்டால் சமன்பாடு 7·7-லிருந்து,

$$u=\frac{1}{\mu}\frac{dp}{dx}\frac{y^2}{2}+Cy+C'$$

கீழ்க்கண்ட எல்லை நிபந்தனைகளை இட்டால்,

$$u=U \quad , \quad y=0$$
$$u=0 \quad , \quad y=h$$
$$u=-\frac{h^2}{2\mu}\frac{dp}{dx}\frac{y}{h}\left(1-\frac{y}{h}\right)+U\left(1-\frac{y}{h}\right)$$

$\frac{dp}{dx}$ன் மதிப்பு மாறிலி என்பதைக் கருத்தில் கொண்டு, ஒரு

குறிப்பிட்ட வெட்டுமுகத்தில் ஒரு அலகு அகலத்தில் பாயும் பாய்மத்தின் வீதமானது,

$$q=\int_{0}^{h} u\,dy=\frac{Uh}{2}-\frac{h^3}{12\mu}\frac{dp}{dx}$$

எந்த வெட்டுமுகத்திலும் q-வின் மதிப்பு ஒரே அளவினதாக, தொடர் சமன்பாட்டின் காரணமாக இருக்கவேண்டும். படத்திலிருந்து,

$$\beta=\frac{h_1-h_2}{l}$$

எனவே,

$$\frac{dp}{dx}=\frac{6\mu U}{(h_1-\beta x)^2}-\frac{12\mu q}{(h_1-\beta x)^3}$$

x-ஆல் தொகையிட்டால்,

$$p=\frac{6\mu V}{\beta(h_1-\beta x)}-\frac{12\mu q}{2\beta(h_1-\beta x)^2}+C$$

இதில் q என்பது மாறிலியாகும். $x=0$-ஆக இருக்கும்போது $p=p_o$. p_o வளிமண்டல அழுத்தமாகும்.
எனவே,

$$C=p_o-\frac{6\mu U}{\beta h_1}+\frac{12\mu q}{2\beta h_1{}^2}$$

எந்த வெட்டுமுகத்திலுமுள்ள அழுத்தமானது,

$$p=p_o+\frac{6\mu U}{\beta}\left[\frac{1}{(h_1-\beta x)}-\frac{1}{h_1}\right]-\frac{6\mu q}{\beta}\,\frac{1}{(h_1-\beta x)^2}-\frac{1}{h_1{}^2}$$

இந்தச் சமன்பாட்டின் முடிவு நிபந்தனைகளான $x=l$-ஆக இருக்கும்போது $p=p_o$ என்பதை இட்டால்,

$$q=U\frac{h_1h_2}{h_1+h_2} \tag{7·24}$$

மேலும் $h_2=(h_1-\beta l)$ என்பதை இட்டால், எந்த வெட்டு முகத்திலுமுள்ள அழுத்தத்தை அடைகிறோம்.

$$p=p_o+\frac{6\mu U\,(1-x)\,(h_1-h_2)}{lh^2\,(h_1+h_2)} \tag{7·25}$$

நழுவும் கட்டையின் பரப்பு தாங்கும் கட்டையின் தளத்திற்கு இணையாக இருந்தால், $h_1 = h_2$, $p = p_0$ ஆகும். எனவே, வளிமண்டல அழுத்தம் தாங்கிக்கு அடியில் ஏற்படும். ஆதலால் தாங்கி எந்தப் பளுவையும் தாங்காது. ஆதலால் a-வின் மதிப்பு சுழியாக இருக்கக்கூடாது.

$x = \frac{lh_1}{h_1 + h_2}$ ஆக இருக்கும்போது உச்ச அழுத்தம் நிகழும் என நிரூபிக்கலாம். அந்த உச்ச அழுத்தமானது,

$$p_{\text{பெரும}} = p_0 + \frac{3\mu Ul\,(h_1 - h_2)}{2h_1 h_2\,(h_2 + h_1)}$$

எனவே, ஒரு அலகு அகலத்தில் அந்த நழுவும் கட்டை தாங்கும் பளுவானது,

$$P = \int_0^l (p - p_0)dx = \frac{6U\,(h_1 - h_2)}{l\,(h_1 + h_2)} \int_0^l \frac{(lx - x^2)}{h^2} dx$$

இதில் $x = \frac{(h_1 - h)}{\beta}$; $dx = -\frac{dh}{\beta}$ என்பவற்றை இட்டு

தொகையிட்டால்,

$$P = \frac{6\mu U\,(h_1 - h_2)}{\beta^3 l\,(h_1 - h_2)} \left[(h_1 + h_2) \log_e \frac{h_1}{h_2} - 2\,(h_1 - h_2) \right]$$

P-யின் உச்ச மதிப்பை அடைய P-யை $\frac{h_1}{h_2}$-ஆல் தொகுத்து அவ்வுச்ச மதிப்பு $\frac{h_1}{h_2} = 2{\cdot}2$-ஆக இருக்கும்போது ஏற்படும் என நிரூபிக்கலாம். அதாவது

$$P_{\text{பெருமம்}} = \frac{0{\cdot}16\,\mu Ul^2}{h_2^{\,2}} \tag{7·26}$$

எனவே, அத் தாங்கி தாங்கும் பளுவானது உயவெண்ணெயின் கனத்திற்கு (thickness) எதிர்விகிதத்திலும், வேகம் உயவெண்ணெயின் பாகுநிலை ஆகியவற்றிற்கு நேர்விகிதத்திலும் இருக்கும். இந்த இடைவெளியின் மதிப்பைத் தாங்கப்பட வேண்டிய பளு, உயவெண்ணெயின் பாகுநிலை, வேகம் முதலியவற்றின் மதிப்புகள் தெரிந்தால் கணக்கிடலாம்.

நழுவும் கட்டையில் ஏற்படும் சறுக்குப்பெயர்ச்சித் தகைவானது,

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dy}$$

$y=0$-ஆக இருக்கும்போது,

$$\tau = \mu \frac{U}{h} - \frac{h}{2} \frac{dp}{dx}$$

ஆனால்

$$\frac{dp}{dx} = \frac{6\mu U}{h^2} - \frac{12\mu q}{h^3} \quad \text{இதில் } q = \frac{Uh_1 h_2}{(h_1 + h_2)}$$

எனவே,

$$\tau = -\frac{2\mu U}{h} + \frac{6\mu U h_1 h_2}{h^2 (h_1 + h_2)}$$

இப்போது உராய்வால் ஏற்படும் இழுவிசையானது,

$$T = \int_0^l \tau \, dx = -2\mu U \int_0^l \frac{dx}{h} + \frac{6\mu U h_1 h_2}{(h_1 + h_2)} \int_0^l \frac{dx}{h^2}$$

$dx = -\frac{dh}{\beta}$ ஆதலால்

$$T = \frac{2\mu U}{\beta} \left[\frac{3(h_1 - h_2)}{(h_1 + h_2)} - \log_e \frac{h_1}{h_2} \right] \qquad (7\cdot27)$$

பளுவின் மதிப்பு உச்சமாக இருக்கும்போது, $P = P$பெரும,

$\frac{h}{h_2} = 2\cdot2$ ஆகும். எனவே,

$$T = \frac{0\cdot56 \mu U l}{h_2} \qquad (7\cdot28)$$

தாங்கியானது சாய்வாக இருப்பதால், பளு P-யும் மொத்த இழுவிசைக்கு $P\beta$ என்ற அளவு விசையைத் தருகிறது. எனவே, மொத்த இழுவிசையானது D,

$$D = T + P\beta = \frac{0\cdot56 \mu U l}{h_2} + \frac{0\cdot16 \mu U l^2}{h_2^{\,2}} \frac{(h_1 - h_2)}{l} \qquad (7\cdot29)$$

இப்போது $\frac{h_1}{h_2} = 2\cdot2$ ஆக இருக்கும்போது,

$$D = \frac{0\cdot75 \mu U l}{h_2} \text{ ஆகும்.}$$

இடைவெளியில் ஏற்படும் பாய்ச்சலானது இரு பரிமாண முடையது என்ற இலட்சிய நிலையின் அடிப்படையில் மேலே உள்ள சமன்பாடுகளை நாம் வருவித்துள்ளோம். ஆனால் நடை முறையில் தாங்கிகளில் அகலம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவுள்ளதாக இருக்குமாதலால், இருபரிமாணத் தன்மை என்ற தற்கோள் செல்லாது. ஆகவே, குறிப்பிட்ட அகலம் b உள்ள தாங்கிகளுக்குப் பளு விகிதம் அட்டவணை 7·1-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

அட்டவணை 7·1

$\frac{b}{l}$	∞	1	$\frac{1}{3}$
பளு	P	$0{\cdot}422P$	$0{\cdot}031P$

நழுவும் தாங்கிகளுக்காக மேலே வருவிக்கப்பட்ட சமன்பாடு களை முதற் தோராயமாக (first approximation) நாம் தட்டைத் தாங்கிகளுக்குப் பயன்படுத்தலாம். உண்மையாகப் பார்க்கப் போனால் தாங்கிகள் சுழல்வதால் ஏற்படும் வெப்பநிலை உயர்வால் உயவெண்ணெயில் உண்டாகும் பாகுநிலை மாறுபாட்டையும் நாம் எடுத்துக் கொள்ளவேண்டும். பாகுநிலை மாறாது என்று எடுத்துக் கொண்டது அவ்வளவு சரியாகாது.

மாதிரிக் கணக்கு 7·5. இடம் பெயராத தாங்கும் தகட்டின் மேல் நழுவும் கட்டை(sliding block)யை உடைய அமைப்பிற்கு நழுவும் தாங்கி (sliding bearing) எனப் பெயர். இந்த நழுவும் கட்டைத் தகட்டிற்கு சிறிது சரிந்து இருக்கிறது. உயவெண்ணெ யின் பாகுநிலை 4 பாய்ஸ்; நழுவும் கட்டையின் திசைவேகம் 1 மீ/வி; $\frac{h_1}{h_2}=2{\cdot}2$; $\frac{l}{h_1}=500$; $h_1=0{\cdot}09$ மிமீ. உச்ச அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு.

$$\mu=4 \text{ பாய்ஸ்}=\frac{4}{98{\cdot}1}\ \frac{\text{கிகிஎ-வி}}{\text{மீ}^2}$$

$$U=1 \text{ மீ/வி}$$

$$\frac{h_1}{h_2}=2{\cdot}2 \qquad \frac{l_1}{h_1}=500$$

$$l=500\times 9\times 10^{-5} \text{ மீ}$$

$$=45\times 10^{-3} \text{ மீ}$$

pபெரும-ன் மதிப்பானது,

$$p_{பெரும} = p_o + \frac{3\mu Ul\,(h_1 - h_2)}{2h_1h_2\,(h_2 + h_1)}$$

$$= 10330 + \frac{3\times4\times45\times10^{-3}\times1\times1{\cdot}2\times2{\cdot}2}{98{\cdot}1\times2\times3{\cdot}2\times(9\times10^{-5})\times2}$$

$$= 10330 + \frac{11\times10^{6}}{7{\cdot}84}$$

$$= 10330 + 280000$$

$$= 290330 \text{ கிகிள}/\text{மீ}^2$$

$$p_{பெரும} = 29{\cdot}03 \text{ கிகிள}/\text{செமீ}^2.$$

மாதிரிக் கணக்கு 7·6. ஒரு தகட்டின் மேல் 2 மீ/வி திசை வேகத்தில் 15 செமீ நீளமுள்ள ஒரு நழுவும் கட்டை செல்கிறது இந்த நழுவும் கட்டைக்கும் தகட்டிற்குமுள்ள இடைவெளி முன் புறம் 0·09 மிமீ, பின்புறம் 0·03 மிமீ ஆகும். இந்தத் தாங்கி 30,000 கிகிள எடையை 1 மீ நீளத்தில் தாங்க வேண்டுமானல், உய வெண்ணெயின் பாகுநிலையைக் கணக்கிடு. அந்த உயவெண்ணெயில் உண்டாகும் உச்ச அழுத்தம் என்ன? ஒரு மீட்டர் நீளத்திற்குத் தேவையான திறன் என்ன?

தாங்கியின் நீளம் $l = 15$ செமீ $= 0{\cdot}15$ மீ

$V = 2$ மீ/வி

$h_1 = 0{\cdot}09$ மிமீ $= 9\times10^{-5}$ மீ

$h_2 = 0{\cdot}03$ மிமீ $= 3\times10^{-5}$ மீ

பளு $P = 3\times10^4$ கிகிள/மீ

$\mu = ?$

h_1, h_2-ன் விகிதமாவது, $C = \dfrac{h_1}{h_2} = \dfrac{9\times10^{-5}}{3\times10^{-5}} = 3.$

பளுவானது கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் கொடுக்கப்படுகிறது.

$$P = \frac{6\mu Ul^2}{h_2{}^2(C-1)^2}\left[\log_e C - 2\frac{C-1}{C+1}\right]$$

$$= \frac{6\mu\times2\times2{\cdot}25\times10^{-2}}{9\times10^{-10}\times4}\left[\log_e 3 - 2\times\frac{2}{4}\right]$$

$$\therefore \quad 3\times10^4=\frac{\mu\times7\cdot4}{10^{-6}}$$

$$\therefore \quad \mu=\frac{3\times10^4\times10^{-6}}{7\cdot4}$$

$$=0\cdot405\times10^{-2}\ \frac{\text{கிகிள}/\text{வி}}{\text{மீ}^2}$$

$$=\frac{0\cdot405\times10^{-2}\times10^3\times981}{1\cdot04}$$

$$=0\cdot396 \text{ பாய்ஸ்}$$

உச்ச அழுத்தச் செறிவானது

$$p_{\text{பெரும}}=p_\circ+\frac{3\mu Ul\,(h_1-h_2)}{2h_1h_2\,(h_2+h_1)}$$

$$=10330+\frac{3\times4\cdot05\times10^{-3}\times2\times6\times10^{-5}\times15^5\times10^{-2}}{2\times27\times10^{-10}\times12\times10^5}$$

$$=10330+\frac{20\cdot25}{6}\times10^5$$

$$=10330+3\cdot44\times10^5 \text{ கிகிள}/\text{மீ}^2$$

$$=35\cdot43 \text{ கிகிள}/\text{செமீ}^2$$

$$\text{மொத்த இழுவிசை } T=\frac{0\cdot56Ul}{h_2}+\frac{0\cdot16\mu l^2U}{h_2{}^2}\frac{(h_1-h_2)}{l}$$

$$=\frac{0\cdot56\times4\cdot05\times10^{-3}\times2\times15\times10^{-2}}{3\times10^{-}}+\frac{0\cdot16\times4\cdot05\times10^{-3}\times2}{3\times10^{-5}}$$

$$\times15\times10^{-2}\times\ (9\times10^{-5})$$

$$=\frac{0\cdot56\times121\cdot5}{3}=22\cdot7 \text{ கிகிள}$$

$$\text{உச்ச இழுவிசை } =22\cdot7+12\cdot96$$

$$=35\cdot66 \text{ கிகிள}$$

$$\text{தேவையான திறன் } =35\cdot66\times2$$

$$=71\cdot32 \text{ கிகிள-மீ}/\text{வி}$$

$$\text{பரிதிறன் } = \frac{71\cdot35}{75}=0\cdot95.$$

7·10. படல ஓட்டத்திலிருந்து கொந்தளிப்பு ஓட்டத்திற்கு மாறுபடும் நிலை (Transition from Laminar to Turbulent Flow)

பாகுநிலை ஓட்டங்களை படல, கொந்தளிப்பு ஓட்டங்கள் என இருவகையாகப் பிரிக்கலாம். படல ஓட்டத்தில் பாய்மத் துகள் தனித்தனியாக அருகிலுள்ள துகள்களை இடம் பெயர்க்காமல் ஒரே படலத்தில் நகர்ந்து செல்கிறது. மூலக்கூறுகளுக்கிடையே ஒன்றையொன்று மோதிக்கொண்டும், மூலக்கூறுகள் இடம் மாறிக் கொண்டும் இருந்தாலும் பாய்மத் துகள்களை ஒரு 'கொத்து' (lump) ஆக எடுத்துக் கொண்டால் இக் கொத்துக்கள் ஒன்றோடொன்று சம்பந்தமின்றி ஒரே படலத்தில் நகர்ந்து செல்கின்றன. இந்தக் கொத்தின் பாதை நேர்கோடாக இருக்கவேண்டிய அவசியமில்லை. பாய்மம் பாயும் பாதைக்கேற்ப கொத்துக்களின் பாதையும் நேராகவோ அல்லது வளைந்தோ இருக்கும். ஆனால் கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களில் இப் பாய்மக் கொத்துக்கள் எந்த ஒரு ஒழுங்கு முறையுமின்றி வினாடிக்கு வினாடி பாதையை மாற்றுவதோடு மட்டுமின்றி ஒரு கொத்து மற்றொரு கொத்து அல்லது கொத்துக்களோடு மோதிக்கொண்டே இருக்கின்றன. இதனால் எல்லாக் கொத்துக்களும் இடம் பெயர்ந்த வண்ணமாகவே இருக்கின்றன. இவ்வாறான இடப்பெயர்ச்சியால் பாய்ம ஓட்டத்தின் தன்மைகள் மாறுகின்றன.

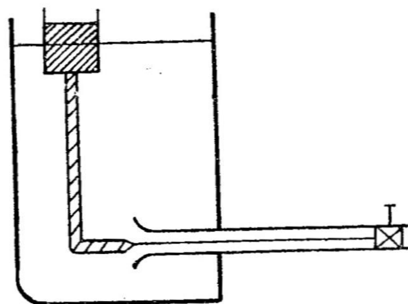
படல ஓட்டமானது நியூட்டனின் பாகுநிலை விதியை (Newton's law of viscosity) பூர்த்தி செய்ய வேண்டும். இவ்வகை ஓட்டங்களில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவானது கோணவடிவ மாற்ற வீதத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருப்பதால் திசைவேகப் பகிர்வு, அழுத்த வேறுபாடு முதலியவற்றை கொள்கை அடிப்படையில் அடைய முடிகிறது. இந்த ஓட்டங்களில் ஏற்படும் எந்த விதமான உலைவுகளையும் (disturbances) அழித்துவிடும் அளவிற்குப் பாய்மத்தில் பிசுபிசுப்புத் தன்மை அதாவது பாகுநிலை இருக்கிறது. ஆனால் திசைவேகம், பாய்ச்சல் நிகழும் பாதையின் அகலம் முதலியவை அதிகரிக்குங்கால் அல்லது பாகுநிலை குறையுங்கால் இந்த உலைவுகளை பாய்மத்திலுள்ள பிசுபிசுப்புத்தன்மையால் அழிக்க முடியாது. இந்த உலைவுகள் அதிகரித்துப் பாய்ச்சல் புலம் முழுவதும் பரவுகின்றன. இவ்வாறு இந்த உலைவுகளால் படல ஓட்டமானது கொந்தளிப்பு ஓட்டமாக மாறுகிறது. உலைவுகள் பரவுவதற்கு விரிந்து செல்லும் பாய்ச்சல் பாதைகளும், எல்லையின் சொரசொரப்பும் (roughness) உதவுகின்றன.

இவ்வாறு பாய்ம ஓட்டங்களில் ஏற்படும் இருவகை ஓட்டங்களான படல, கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களைப்பற்றி முதற்கண்

கண்டறிந்து அவைகள்பற்றி ஆராய்ச்சி செய்தவர் ஆங்கில நாட்டு விஞ்ஞானியான ஆஸ்பான் ரெயினல்ஸ் (Osborne Reynolds) என்பவராவர். அவரே முதற்கண் இவ்விருவகை ஓட்டங்களைப் பாகுபடுத்துவது என்பதற்கான விதிமுறைகளையும் வகுத்தார். எனவே, அவர் பெயரால் $\frac{VD}{\nu}$ என்ற பரிமாணமற்ற எண் (dimensionless number) வழங்கப்படுகிறது. அந்த எண்ணே ஓட்டங்களைப் பாகுபடுத்தப் பயன்படுகிறது.

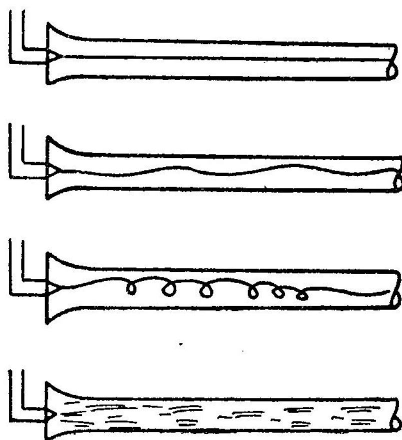
7·11. ரெயினல்ஸ் சோதனை

இருவகை ஓட்டங்களைப் பரிசோதனை மூலம் விளக்க 1880-ல் ரெயினல்ஸ் கையாண்ட கருவியின் அமைப்பு படம் 7·12-ல் காட்டப்பட்டுள்ளதை ஒத்ததாகும். ஒரு கண்ணாடிக் குழாய் தொட்டியினுள் ஆரம்பித்து, வெளியில் சற்று தூரம் நீட்டிக் கொண்டிருக்கிறது. அந்தக் கண்ணாடிக் குழாயின் நுழை வாய் மணிக்கூண்டு அமைப்பை ஒத்திருக்கிறது. இந்தத் தொட்டியில் நீர் நிரப்பப் பட்டு அந்தக் கண்ணாடிக் குழாயின் நுழைவாயிலில் ஒரு வண்ணத்தாரை வெளிவரும் படி ஒரு ஊசிமுனை அமைப்பை யுடைய வண்ண மை கொண்ட சிறிய தொட்டியும் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. படத்தி லுள்ளபடி வண்ண நீர்த் தொட்டியில் பெரிய நீர்த் தொட்டியிலுள்ள நீர்மட்டத்தைவிட வண்ண நீர்மட்டம் சிறிது உயரத்திலிருக்கும்படி அமைக்கப்பட்டுள்ளது. நீரின் பாயுவீதத்தை மாற்ற கண்ணாடிக் குழாயின் வெளிவாயிலில் ஒரு வால்வு (valve) பொருத்தப்பட்டுள்ளது. இந்தச் சோதனை அமைப்பு முழுவதும் அதிர்ச்சியே இல்லாத இடத்தில் அமைக்கப்படவேண்டும். அமைதி நிலை ஏற்பட்டபின் வால்வானது சிறிதளவு மட்டும் திறக்கப்பட்டால் வண்ண மையானது ஒரு கோடு போன்று மற்ற நீரோடு கடைசி வரை கலக்காமல் வெளிவரும். வால்வானது படிப்படியாக அதிகமாகத் திறக்கப்படும் பொழுது படம் 7·13-ல் காட்டப் பட்டுள்ளபடி வண்ணக் கோட்டில் சிறிது சிறிதாக அலை அமைப்பு உண்டாகி, கடைசியில் நன்றாக மற்ற நீரோடு கலந்து விடுகிறது. இந்த அலை உண்டாவது படல ஓட்டத்தின் தன்மை மாறுவதின்



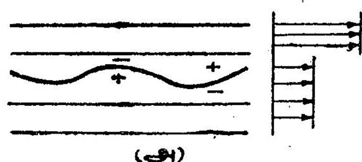
படம் 7·12. ரெயினல்ஸ் சோதனை

தொடக்கத்தைக் குறிக்கும். வண்ணக் கோடானது உருத் தெரியாமல் முழுவதும் கலந்துள்ள நிலை கொந்தளிப்பு ஓட்டத்தைக் குறிக்கும். இந்த இரண்டிற்கும் இடைப்பட்ட நிலையை மாறுபடும் நிலை (transition) என்கிறோம். இந்த மாற்றத்திற்குக் காரணம் பாய்ச்சலில் ஏற்படும் உலைவுகளேயாகும். ஏதாவது ஒரு காரணத்தால் ஏற்படும்உலைவானது படிப்படியாக வளர்வதற்குக் கொந்தளிப்பு ஓட்டம் உதவுகிறது; ஆனால் படல ஓட்டத்தில் பாகுநிலைத் தன்மை அதாவது பிசுபிசுப்புத் தன்மை அதிகமாக இருப்பதால் அந்த உலைவானது படிப்படியாக அழிந்து மறைந்து விடுகிறது. இந்த உலைவுக்கான காரணங்களையும், எந்த நிலைகளில் பாய்ச்சல் நிலைப்பாடு (stability) உடையதாக இருக்கும் என்பது பற்றியும் பல ஆராய்ச்சிகள் நடந்து கொண்டிருக்கின்றன. நிலைப்பாடற்றதன்மை (instability) எவ்வாறு வளர்கிறது என்பதுபற்றி பார்ப்போம்.

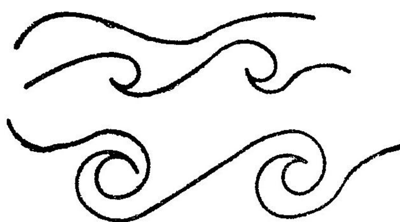

படம் 7·13. படல நிலையிலிருந்து கொந்தளிப்பு நிலைக்கு மாறுபடுவது

7·12. நிலைப்பாடற்ற தன்மையின் வளர்ச்சி (Growth of Instability)

படம் 7·14 (அ)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி எந்தப் பரப்பில் திசைவேக மாறுபாடு திடீரென ஏற்படுகிறதோ அங்கே பாய்ம ஓட்டத்தில் உலைவு ஏற்பட ஏதுவாகிறது. இந்த உலைவால் அலைகள் உற்பத்தியாகின்றன. இந்த உலைவானது பாய்மத்திலுள்ள உட்கூறு அமைப்புகளாலோ அல்லது வெளியிலிருந்தோ ஏற்படக்கூடும். எதுவாக இருந்தாலும் உலைவால் ஏற்படும் அலை



(அ)


(ஆ)

படம் 7·14. திசைவேகப் பகிர்வால் ஏற்படும் நிலைப்பாடற்ற தன்மை

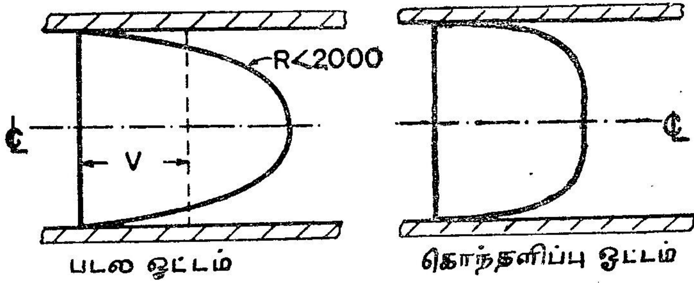
களால் பாய்ச்சல் புலத்தில் அழுத்த வேறுபாடு ஏற்படுகிறது. எங்கு இழைக் கோடுகளின் இடைத்தூரம் குறைவாக இருக்கிறதோ அங்கு திசைவேகம் அதிகரித்து அழுத்தம் குறைகிறது. ஆகவே, படத்தில் காட்டியுள்ளபடி அலையின் அலையும் தன்மை அதிகரித்து சுழல் (eddy) ஏற்பட வாய்ப்பு ஏற்படுகிறது. இந்தச் சுழல்கள் நன்கு வளர்ந்த பின் பல சிறு சுழல்களாக உடைந்து பாய்ச்சல் புலம் முழுவதும் பரவி கொந்தளிப்பு ஓட்டத்தை உண்டாக்கு கிறது.

7·13. ரெயினல்ஸ் எண்

ரெயினல்ஸ் எண்ணின் அடிப்படையில் ஒரு ஓட்டத்தைப் படல ஓட்டமா அல்லது கொந்தளிப்பு ஓட்டமாஅல்லது மாறுபடும் நிலையில் உள்ளதா எனப் பாகுபடுத்தலாம். ரெயினல்ஸ் தம் முடைய சோதனைகள் மூலம் ரெயினல்ஸ் எண் என்று அழைக்கப் படும் $\frac{VDP}{\mu}$ என்ற பரிமாணமற்ற எண்ணின் மதிப்பு, எந்த ஓட்டத் தில் குறைவாக இருக்கிறதோ அவ்வோட்டமானது படல ஓட்டம் எனப் பாகுபடுத்தினர். ரெயினல்ஸ் எண்ணின் மதிப்பு அதிகரிக்க அந்தப் படல ஓட்டம் நிலைப்பாடற்ற தன்மையை அடைந்து கடைசியில் கொந்தளிப்பு ஓட்டமாக மாறுகிறது. இந்த மாறு படும் நிலையைக் குறிக்கும் ரெயினல்ஸ் எண்ணின் மதிப்பைத் திட்ட வட்டமாகச் சொல்ல முடியாது. ஏனெனில் இந்த மாறுபடும் நிலை, உலையின் தன்மை, சடத்துவப் பாகுநிலை விசைகளுக்கான விகிதாச்சாரம், உலையின் மதிப்பு இவற்றை பொருத்தது.

வட்டக் குழாய்களில் நடத்தப்பட்ட பல சோதனைகளிலிருந்து உலைவு எப்படிப்பட்டதாக இருந்தாலும் R-ன் மதிப்பு 2000-க்குக் குறைவாக இருக்குமானல் படல ஓட்டம் (laminar flow) நிகழ வேண்டும் என்ற முடிவிற்கு ரெயினல்ஸ் வந்தார். இந்த எண்ணிற்குக் கீழ் மாறுநிலை எண் (lower critical number) எனப் பெயர். இரு தளங்களுக்கிடையே நிகழும் ஓட்டம், கால்வாய் ஓட்டம் ஆகியவற்றிற்குக் கீழ்மாறுநிலை எண்ணின் மதிப்பு முறையே 1000, 500 ஆகும். எவ்விதமான அதிர்ச்சியும் இல்லாத அமைப்பில் R-ன் மதிப்பு வட்டக் குழாய்களில் 10,000 முதல் 12,000 வரை இருக்கும்போது படல ஓட்டம் சாத்தியமென ரெயினல்ஸ் சோதனைகள் மூலம் காட்டினர். ஆகவே, இதை மேல் மாறுநிலை எண் (upper critical number) என்கிறோம். ரெயினல்ஸ் காலத் திற்குப் பின் வந்த விஞ்ஞானிகள், இந்த மேல் மாறுநிலை எண்ணின் மதிப்பு 40,000 முதல் 50,000 வரை போகலாம் எனச் சோதனைகள் மூலம் காட்டியுள்ளனர். மேலும், முடுக்கப் பாய்ச்சல்களில்

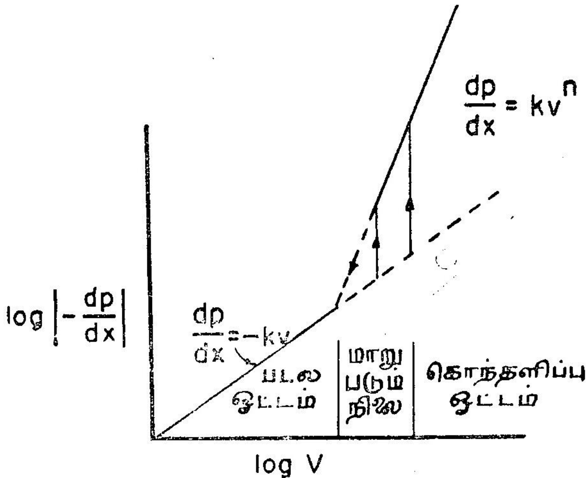
நிலைப்பாடு (stability) அதிகமாகவும் எதிர்முடுக்கப் பாய்ச்சல்களில் (decelerative flows)நிலைப்பாடற்ற தன்மை அதிகமாகவும் இருக்கும். ரெயினல்ஸ் எண்ணின் மதிப்பு அதிகமாக அதிகமாக, பாய்ச்சல் களில் சுழல்கள் உண்டாகி கொந்தளிப்புத் தன்மை ஏற்படுகிறது. இதனால் பாய்மக் 'கொத்துக்கள்' பாய்ச்சல் புலத்தில் இடம் நகர்ந்த வண்ணமிருக்கின்றன. எனவே, படம் 7·15-ல் உள்ளபடி கொந்தளிப்பு ஓட்டத்தில் திசைவேகப் பகிர்வு எல்லை அருகிற்



படம் 7·15. வட்டக் குழாயில் திசைவேகப் பகிர்வு

தவிர மற்ற இடங்களில் சீராக இருக்கும். படல ஓட்டத்தில் முன்னரே வருவிக்கப்பட்டுள்ளபடி திசைவேகப் பகிர்வு பரவளைவு வடிவமுடையதாக இருக்கும்.

படம் 7·15-லிருந்து கொந்தளிப்பு ஓட்டத்தில் எல்லையருகில் திசைவேகச் சரிவு படல ஓட்டத்தைவிட பல மடங்கு அதிகமாக

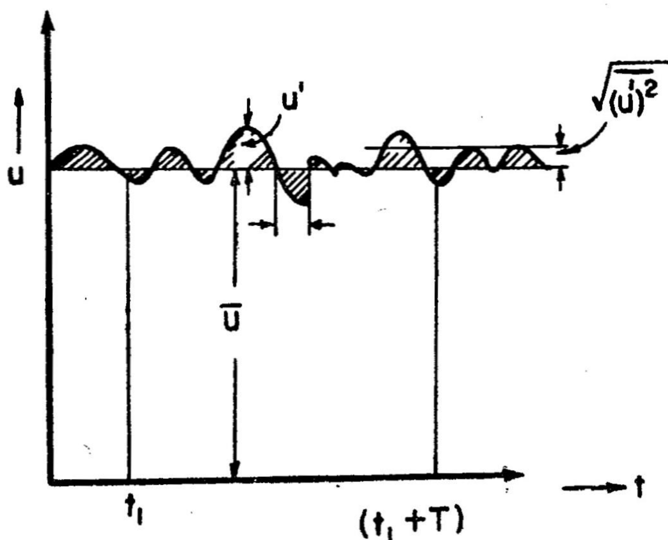


படம் 7·16. திசைவேகத்திற்கும் அழுத்தச் சரிவிற்குமுள்ள தொடர்பு

இருக்குமெனத் தெரிகிறது. சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவும் அதனால் உண்டாகும் ஆற்றலிழப்பும் இந்தத் திசைவேகப் பகிர்வைப் பொறுத்ததால், கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களில், படல ஓட்டங்களைவிட ஆற்றலிழப்பு அதிகமாக இருக்கும். எனவே, படம் 7·16-ல் உள்ளபடி கொந்தளிப்பு ஓட்டத்தில் அழுத்த வேறுபாடு படல ஓட்டத்தைவிட அதிகமாக இருக்கும். படல ஓட்டத்தில் அழுத்தச் சரிவு (pressure gradient) சராசரித் திசை வேகத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். ஆனால் கொந்தளிப்பு ஓட்டத்தில் அழுத்தச் சரிவு சராசரித் திசைவேகத்தின் வர்க்கத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும்.

7·14. கொந்தளிப்பு (Turbulence)

எவ்வாறு சுழல்கள் உண்டாகிப் பாய்ச்சல் கொந்தளிப்புத் தன்மை அடைகிறது எனப் பார்த்தோம். ஒரு பாய்ச்சல் புலத்தில் கொந்தளிப்புத் தன்மை முழுவதும் பரவிவிட்ட பிறகு அப் புலத்தில் எந்த ஒரு பாய்மத் துகளின் பாதையையும் கண்டறிதல் கடினம். ஒவ்வொரு துகளும் நிலையற்றதாக தான்தோன்றித்தனமாகப் புலத்தில் அலைந்து கொண்டிருக்கும். எந்த ஒரு புள்ளியிலும் திசைவேகம், அழுத்தம் முதலியன விநாடிக்கு விநாடி மாறிக்



படம் 7·17. x-திசையில் திசைவேகம்

கொண்டேயிருக்கும். எனவே, நமக்கு ஒரு புள்ளியில் நேரத்தால் உடனுக்குடன் மாறும் தன்மைகளை அறிந்து யாது பயனும் இல்லை.

அதனால் ஒரு குறிப்பிட்ட நேர இடைவெளியில் ஏற்படும் சராசரிக் குணநலன்களையே அறிய முற்படவேண்டும். படம் 7·17-ல் ஒரு புள்ளியில் எவ்வாறு திசைவேகத்தின் கூறு நேரத்தால் மாறுபடுகிறது எனக் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதேபோல் மற்ற திசைகளிலும் திசைவேகக் கூறுகள் மாறுபட்டுக் கொண்டேயிருக்கும். x-திசையில் மட்டும் ஏற்படும் திசைவேகக் கூறை எடுத்துக் கொள்வோம். கணத்து திசைவேகக் கூறு (instantaneous velocity component) u-ஆக இருந்தால், $\bar{u}$ என்பது நேர சராசரித் திசைவேகக் கூறையும், u' என்பது மாறிக்கொண்டிருக்கும் திசைவேகக் கூறையும் (fluctuating velocity component) குறிக்குமானால்,

$$u = \bar{u} + u'$$

T என்ற நேரத்தில் திசைவேகச் சராசரியை எடுத்துக் கொண்டால்,

$$\bar{u} = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_1+T} u\,dt \qquad (7{\cdot}30)$$

இதேபோல் y, z-திசைகளில் சராசரித் திசைவேகமும், சராசரி அழுத்தமும்,

$$\bar{v} = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_1+T} v\,dt$$

$$\bar{w} = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_1+T} w\,dt$$

$$\bar{p} = \frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_1+T} p\,dt$$

மாறிக் கொண்டிருக்கும் திசைவேகக் கூறுகளின் நேர சராசரியானது (time average),

$$\overline{u'} = \overline{v'} = \overline{w'} = 0 \qquad (7{\cdot}31)$$

இந்த மாறிக்கொண்டிருக்கும் திசைவேகக் கூறின் அளவாக அதன் வர்க்க சராசரியின் வர்க்கமூலம் (root-mean-square)

அல்லது வர்க்கங்களின் சராசரி எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. அதாவது,

$$\frac{1}{T}\int_{t_1}^{t_1+T} u'^2 dt = \overline{u'^2} \qquad (7{\cdot}32)$$

எல்லாத் திசைகளிலும் இந்த மாறிக் கொண்டிருக்கும் திசை வேகக் கூறுகள் இருப்பதால் கொந்தளிப்புத் தன்மையின் அளவாக (measure of magnitude of turbulence)

$$\sqrt{\frac{1}{3}(\overline{u'^2}+\overline{v'^2}+\overline{w'^2})}$$

என்ற அளவு பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஆனால் கொந்தளிப்புச் செறிவானது (intensity of turbulence) கொந்தளிப்புத் தன்மையின் அளவிற்கும் சராசரித் திசைவேகத்திற்கும் விகிதமாக வரையறுக்கப்படுகிறது. எனவே,

$$\text{கொந்தளிப்புச் செறிவு} = \frac{\sqrt{\frac{1}{3}(\overline{u'^2}+\overline{v'^2}+\overline{w'^2})}}{\overline{V}} \qquad (7{\cdot}33)$$

ஒருபரிமாணப் பாய்ச்சலில் (one-dimensional flow) $\overline{v}=\overline{w}=0$. ஆனால் v', w'-க்கு மதிப்பு உண்டு. ஆகவே, கொந்தளிப்புச் செறிவானது,

$$= \frac{\sqrt{\frac{1}{3}(\overline{u'^2}+\overline{v'^2}+\overline{w'^2})}}{\overline{u}}$$

சுழல்களின் அளவு, கொந்தளிப்பு அளவுகோல் (scale of turbulence) என அழைக்கப்படுகிறது. ஒரு புள்ளியின் வழியாகப் பல சுழல்கள் செல்லும்போது மாறிக்கொண்டிருக்கும் திசை வேகக் கூறினால் அந்தப் புள்ளியில் தொடர்ந்துவரும் இரண்டு சுழல்களினால் திசைவேகத்தின் திசை மாறிப் பழைய நிலையை அடையும். எனவே, படம் 7·17-ன் உதவியால் கொந்தளிப்பு அளவுகோலைக் கணக்கிடலாம். படத்திலிருந்து மாறிக்கொண்டிருக்கும் திசைவேகக் கூறு (fluctuating component of velocity), சராசரித் திசைவேகக் கிடைக்கோட்டை என்ன சராசரி நேரத்தில் திரும்பத் திரும்ப கடக்கிறது எனக் கண்டுபிடிக்கப் படுகிறது. பின்னர் சராசரித் திசைவேகம், அவ்வாறு கண்டு பிடிக்கப்பட்ட நேரம் இரண்டின் பெருக்குத்தொகை கொந்தளிப்பு அளவுகோலாகும். பெரிய அளவுள்ள சுழல்களில் கொந்தளிப்பு

அளவுகோல் அதிகமாகவும், சிறிய அளவுள்ள சுழல்களில் கொந்தளிப்பு அளவுகோல் குறைவாகவும் இருக்கும். குறைந்த கொந்தளிப்பு அளவுகோலையுடைய பாய்ச்சலில்தான் ஆற்ற லிழப்பு அதிகமாக இருக்கும். ஆனால் நல்ல கலவை (mixing) தேவையானால் பெரிய சுழல்களை உண்டாக்க வேண்டும்.

மாறிக்கொண்டிருக்கும் திசைவேகக்கூறு நிலையற்ற, சீரற்ற தன்மையுடையது. ஆனால் நடைமுறையில் இந்த மாறுபடும் கூறை அதிகமாகப் பொருட்படுத்துவதில்லை; சராசரித் திசை வேகத்தை மட்டுமே பெரும்பாலான பொறியியற் அமைப்புகளில் கையாளுகிறோம். நிலையற்ற திசைவேகம் என்னும் போது அச் சொற்றொடர் சராசரித் திசைவேகத்தையே குறிக்கும். எனவே, ஒரு நிலையான திசைவேகத்தில் மாறிக்கொண்டிருக்கும் திசை வேகக் கூறு நிலையற்றது.

கொந்தளிப்புப் பாய்ச்சலைப்பற்றி முழுமையாக அறிய வேண்டுமானால் இவ்வாறு மாறிக்கொண்டிருக்கும் திசைவேகக் கூறுகளையும் பகுப்பாய்வுகளில் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும். அவ்வாறு எடுத்துக்கொண்டால் இயக்கச் சமன்பாடுகளைக் கணித அடிப்படையில் தொகையிடுவது பெரும்பாலான நிலைமைகளுக்குச் சாத்தியமல்ல. எனவே, சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் சில உண்மைகளின் அடிப்படையில் நியாயமான ஊகத்தினால் கொள் கைகளை உருவாக்கி பயன்படுத்த வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. அவ்வாறு உருவாக்கப்பட்ட சில கொள்கைகளைப் பற்றி இனி பார்ப்போம்.

7·15. பகுதி அனுபவக் கொள்கைகள் (Semi-empirical Theories)

படல ஓட்டத்தில் திசைவேகப் பகிர்வு, ஆற்றலிழப்பு, அழுத்த வேறுபாடு முதலியவற்றை எவ்வாறு அடைவது என்பதைப் பார்த் தோம். இதேபோல் கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களுக்குக் கொள்கைக் ரீதியில் திசைவேகப் பகிர்வு முதலியவற்றை சரியாக (exact) இது காலம் வரை அடைய முடியவில்லை. ரெயினால்ஸ் மாறிக்கொண் டிருக்கும் கொந்தளிப்பு திசைவேகக் கூறையும் சராசரித் திசை வேகத்தையும் எடுத்துக் கொண்டு கொந்தளிப்புப் பாய்ச்சல்களுக் கான இயக்கச் சமன்பாடுகளை நாவியர்-ஸ்டோக்ஸ் சமன்பாடு களிலிருந்து வருவித்துள்ளார். இவற்றிற்கு ரெயினால்ஸ் சமன் பாடுகள் (Reynolds' equation) எனப் பெயர். ஆனால் இச்சமன் பாடுகளிலுள்ள வேறுபடும் உறுப்புகள் (variables) சமன்பாடுகளின் எண்ணிக்கையைவிட அதிகமாக இருப்பதால் இவற்றைத் தீர்த் தல் (solve) இயலாததாகிவிடுகிறது. ஆனால் இயற்கையிலும், பொறியியற் துறையிலும் ஏற்படும் பெரும்பாலான ஓட்டங்கள்

கொந்தளிப்புத் தன்மையுடையனவாக இருப்பதால் இப்பாய்ச்சல் பற்றிய சில கொள்கைகளின் உதவியால் இவற்றை ஆராய்ந்து அறிய வேண்டியதிருக்கிறது. இந்தக் கொள்கைகளைப் பயன்படுத்தும்போது சில அடிப்படைப் புள்ளி விபரங்கள் தேவைப்படுவதால் அவற்றை சோதனைகளிலிருந்து அடைய வேண்டியதிருக்கிறது. எனவே, இக்கொள்கைகளைப் பகுதி அனுபவக் கொள்கைகள் என்கிறோம். இவைகள்பற்றி பின்வரும் பகுதிகளில் படிப்போம்.

7·16. பொசினஸ்க்குச் சுழற் பாகுநிலை (Boussinesq's Eddy Viscosity)

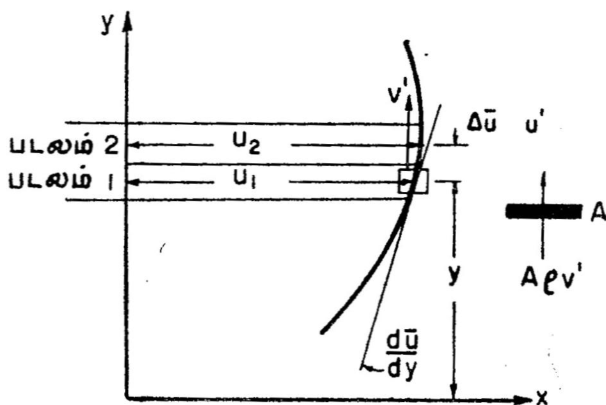
குழாயில் ஏற்படும் பாய்ம ஓட்டமானது படலத் தன்மையுடையதாக இருக்குமானால் அழுத்த வேறுபாடு திசைவேகம் V-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்குமெனப் பார்த்தோம். ஆனால் கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களில் அழுத்த வேறுபாடு V'' என்பதற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும். ஆற்றலிழப்பு, சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவால் ஏற்படுகிறது. எனவே, கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவானது அதற்கு ஒப்பான படல ஓட்டங்களைவிட அதிகமாக இருக்கவேண்டும். இந்தக் காரண அடிப்படையில் பொசினஸ்க்கு என்ற பிரான்சு நாட்டு விஞ்ஞானி, கொந்தளிப்பு ஓட்டத்தில் ஏற்படும் மொத்த சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவானது இயக்கவிசைப் பாகுநிலை, சுழற் பாகுநிலை (eddy viscosity) இவற்றால் ஏற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவுகளின் கூட்டுத் தொகையாக இருக்க வேண்டுமென ஊகித்துணர்ந்தார். படல ஓட்டத்திலுள்ள இயக்கவிசைப் பாகுநிலைக்கு ஒப்பானது சுழற் பாகுநிலை என்பது. ஒரு இருபரிமாணப் பாய்ச்சலில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவானது,

$$\tau = \mu\frac{d\bar{u}}{dy} + \eta\,\frac{d\bar{u}}{dy} \qquad (7{\cdot}34)$$

இதில் η என்பது சுழற் பாகுநிலையாகும். இதன் பரிமாணம் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையான μ-க்குச் சமமாக இருப்பதைக் காண்க. படல ஓட்டத்தில் $\eta=0$. ஆனால் கொந்தளிப்பு ஓட்டத்தில் η-வின் மதிப்பு, μ-ஐவிட பன்மடங்கு அதிகமாக இருக்கும். η வானது இயக்கத் தன்மையையும் பொருத்திருப்பதால் பாய்மம் பாயும் பாதையின் குறுக்கே η-வின் மதிப்பு மாறும். η வானது பாய்மத்தின் சிறப்பியல்புகளில் ஒன்றல்ல. η வானது எவ்வாறு ஒரு பாய்ச்சல் புலத்தில் மாறுபடுகிறது என்பதைக் கொள்கை அடிப்படையில் நிர்ணயிக்க முடியவில்லையாதலால் சுழற் பாகுநிலை பற்றிய கருத்து பொறியியற் துறையில் அதிகமாகப் பயன் படுவதில்லை.

7·17. பிராண்டல் கலத்தல் நீளப் புனைவுகோள் (Prandtl's mixing Length Hypothesis)

கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களில் ஏன் அதிகப்படியான சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு உண்டாகிறது என்பதற்கும், ஏன் திசைவேகப் பகிர்வு சீராக இருக்கிறது என்பதற்கும் உந்தப் பரிமாற்ற (momentum exchange) அடிப்படையில் பிராண்டல் விளக்கம் தந்தார். இந்தப் புனைவுகோள் நடைமுறையில் சரியான தீர்வு களைத் தருவதாலும் இதன் அடிப்படையில் சமன்பாடுகளை எளிதில் வருவிக்க முடிவதாலும் இதை நாம் பல பொறியியற் நிலைமைகளுக்குக் கையாளுகிறோம்.



படம் 7·18. பாய்ம ஓட்டத்தில் உந்தப் பரிமாற்றம்

ஒரு இருபரிமாண ஓட்டத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். படம் 7·18-ல் காட்டப்பட்டுள்ள படலம் 1-ல் திசைவேகம் $\bar{u}_1$-ஆகவும் அதை அடுத்துள்ள படலம் 2-ல் திசைவேகம் $\bar{u}_2$-ஆகவும் இருக்கட்டும். இவற்றில் y-திசையிலுள்ள மாறிக்கொண்டிருக்கும் திசைவேகக் கூறு v'-ஆக இருக்கட்டும். ஒரு படத்திலிருந்து மற்றொரு படலத்திற்கு A என்ற பரப்பின் வழியாகப் பாய்மக் கொத்து v' என்ற திசைவேகத்தில் செல்லுமானால் பொருண்மைப் பாய்வு (mass flux) $A\rho v'$ ஆகும். இதில் ρ என்பது பாய்மத்தின் அடர்த்தியாகும். இந்தப் பொருண்மை மேலேயுள்ள படலத்திற்குச் சென்றால் அதன் திசைவேகம் $-u'$ குறைவுள்ளதாக இருக்கும். எனவே, இரண்டாவது படலத்தில் வேகமாகச் சென்று கொண்டிருக்கும் பாய்மமானது இந்தப் பொருண்மையை இழுத்துக் கொண்டு சென்று முடுக்கப்படுத்தும். எனவே, x-திசையில் அதன்

உந்தம் அதிகரிக்கிறது. இவ்வாறு அதிகரிக்கும் உந்த மதிப்பு $A\rho v'x - u'$ ஆகும். உந்த மாறுபாட்டுவிதமானது அப்படலங்களிடையில் ஏற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவுக்குச் சமமாகுமென எடுத்து கொண்டால்,

$$\tau = \eta \frac{d\bar{u}}{dy} = -\rho \overline{u'v'}$$

இதைச் சமன்பாடு 7·32-ல் இட்டால்,

$$\tau = -\rho \overline{u'v'} + \mu \frac{d\bar{u}}{dy}$$

ஆனால் $\mu \frac{d\bar{u}}{dy}$-யின் மதிப்பு புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு சிறியதாக இருக்குமாதலால்,

$$\tau = -\rho \overline{u'v'} \tag{7·35}$$

இவ்வாறு கொந்தளிப்பால் ஏற்படும் மேலேயுள்ள சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவிற்கு ரெயினல்ஸ் தகைவு (Reynolds' stress) எனப் பெயர்.

ஒரு பாய்ம மூலக்கூறு (molecule) மற்றொரு மூலக்கூறுடன் மோதுவதற்குமுன் அது செல்லும் தூரமான சராசரி கட்டற்ற பாதை(mean free path)யின் நீளத்திற்கு ஒப்ப, கொந்தளிப்பு ஓட்டத்திலும் ஒரு 'கொத்து' பாய்மம் மற்றொரு படலத்திற்குச் சென்று அப்படலத்திலுள்ள திசைவேகத்தை அடைய y-திசையில் l நீளம் நகர வேண்டுமென பிராண்டல் ஊகித்தார். இந்த நீளத்தை கலத்தல் நீளம் (mixing length) என்கிறோம். உண்மையில் பாய்மக் கொத்தானது l தூரம் சென்ற பின்னரே புதிய படலத்திலுள்ள திசைவேகத்தை திடீரென அடையாமல் அதன் பாதையில் படிப்படியாக அடையும். மேலும் u' என்ற மாறிக் கொண்டிருக்கும் திசைவேகக் கூறு v'-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்குமெனக் கொள்ளலாம். எனவே, $u'v'$ என்பது $l^2 \frac{d\bar{u}}{dy}$-க்கு நேர் விகிதத்திலிருக்கும் எனக் கொள்ளலாம். விகிதமாறிலி(proportionality constant)யின் மதிப்பை l-லோடு இணைத்தால்,

$$\tau = \rho l^2 \left| \frac{d\bar{u}}{dy} \right| \frac{d\bar{u}}{dy} \tag{7·36}$$

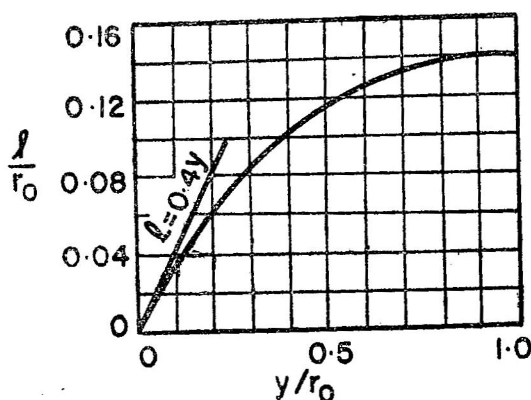
இதில் சுழற் பாகுநிலையானது,

$$\eta = \rho l^2 \left| \frac{d\bar{u}}{dy} \right|$$

இதிலிருந்து கலத்தில் நீளமானது எல்லையிலிருந்து உள்ள தூரத்தைப் பொருத்தது எனத் தெரிகிறது. சோதனைகளிலிருந்து l-ன் உண்மையான மதிப்பை அடையலாம். வட்டக் குழாய்களில் ஏற்படும் கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களுக்கு பிராண்டல் கலத்தல் நீளம் எல்லையின் தூரத்திற்கு நேர் விகிதத்திலிருக்குமென தற்கோள் கொண்டார். அதாவது

$$l = ky$$

இதில் k என்பது பொது மாறிலி (universal constant) ஆகும். நிக்குராட்ஸே(Nikuradse)வின் சோதனைகளிலிருந்து k-யின் மதிப்பு 0·4 எனத் தெரிகிறது. (படம் 7·19.)



படம் 7·19. k-யின் மதிப்பு

பிராண்டலின் தற்கோளான $l=ky$ என்பது எல்லாவித ஓட்டங்களுக்கும் பொருந்தவில்லை. குழாய் ஓட்டம் போன்ற சில வற்றிற்கே அத்தற்கோள் பயன்படுகிறது.

7·18. வான் கார்மன் ஒப்புமைப் புனைவுகோள் (Von Karman's Similarity Hypothesis)

பிராண்டலின் கலத்தல் நீளப் புனைவுகோளை மேலும் அபி விருத்தி செய்ய அவரின் மாணுக்கர்களில் ஒருவரான வான் கார்மன் என்பவர் பிறிதொரு கருத்தை வெளியிட்டார். கலத்தல் நீள மானது எல்லையின் தூரத்தைச் சார்ந்திராது; கொந்தளிப்பு பாய்ச்சல் புலத்தில் வெவ்வேறு புள்ளிகளிலுள்ள திசைவேகத்தைச் சார்ந்திருக்குமென வான் கார்மன் கருதினுர். அவர் கீழ்க்கண்ட தற்கோள்களின் பேரில் தன் ஒப்புமைப் புனைவுகோளை விளக்கினுர். (1) ஒரு சறுக்குப் பெயர்ச்சிப் புலத்தில் (shear field) எந்த ஒரு

புள்ளியிலும் ஏற்படும் கொந்தளிப்புத் தன்மை புள்ளியியல் (statistics) அடிப்படையில் ஒருபடித்தாக இருக்க வேண்டும். (2) கொந்தளிப்பு மாற்றங்கள் நேர, நீள அளவுகோல்களைச் (time and length scales) சார்ந்தன. இவற்றுள் முதற் தற்கோள் η, μ என்பவற்றின் ஒப்பு அளவுகளைச் சார்ந்தது. இரண்டாவது தற்கோளின்படி எல்லாப் புள்ளிகளிலும் ஒரே அளவான ஒட்டுறவு (correlation) இருக்க வேண்டுமெனத் தெரிகிறது. சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் புள்ளி விபரங்களிலிருந்து இந்தத் தற்கோள்கள் சரியானவைகளாக இருக்கவேண்டுமெனத் தெரிகிறது. எனவே, கொந்தளிப்பால் ஏற்படும் மாறுபாடுகள் திசைவேகச் சரிவிற்கும், ஏதாவது ஒரு நீள அளவுகோலுக்கும் நேர் விகிதத்திலிருக்கவேண்டும்.

ஒரு இருபரிமாண, நிலையான பாய்ச்சலிலுள்ள திசை வேகத்தை டெயிலர் தொடரால் (Taylor series) விரித்தால்,

$$u(y+\triangle y)=u(y)+\frac{d\bar{u}}{dy}\triangle y+\tfrac{1}{2}\frac{d^2\bar{u}}{dy^2}(\triangle y)^2+\ldots\ldots$$

இவற்றில் $\frac{d\bar{u}}{dy}$, $\frac{d^2\bar{u}}{dy^2}$ என்பவற்றை சோதனைகளிலிருந்து அளந்து அறியலாம். நீள அளவுகோலைப் பயன்படுத்த வான் கார்மன் கீழ்க்கண்ட நீளப் பரிமாணமுள்ள உறுப்பைப் பயன்படுத்தினர்.

$$l=K\frac{\frac{d\bar{u}}{dy}}{\frac{d^2\bar{u}}{dy^2}} \qquad (7{\cdot}37)$$

இதில் K என்பது பொது மாறிலியாகும். எனவே, கொந்தளிப்புச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவானது,

$$\tau=\rho\left(l\frac{d\bar{u}}{dy}\right)^2$$

இதில் l-ன் மதிப்பை இட்டால்,

$$\tau=\rho K^2\frac{\left(\frac{d\bar{u}}{dy}\right)^4}{\left(\frac{d^2\bar{u}}{dy^2}\right)^2} \qquad (7{\cdot}38)$$

எனவே, மேலே உள்ள சமன்பாட்டில் கலத்தல் நீளமான l விலக்கப்பட்டுள்ளது.

கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களில் உந்தப் பரிமாற்றம் ஏற்படுகிறது என்ற கருத்து முன்னர் விளக்கப்பட்டுள்ள இரண்டு புனைவுகோள்களுக்கும் பொதுவானது. கலத்தல் நீளத்திற்கும் திசைவேகப் பகிர்வுக்கும் இடையேயுள்ள சார்புத் தொடர்பை நிர்ணயிப்பதில் இரண்டு புனைவுகோள்களும் வேறுபடுகின்றன. இருந்த போதிலும் குழாய் ஓட்டங்களுக்கு இரண்டு புனைவுகோள்களும் ஒரே தீர்வுகளைத் தருகின்றன என்பது நோக்கற்பாலது.

பயிற்சிக் கணக்குகள்

7·1. படல ஓட்டத்தில் ஒரு அலகு கன அளவு பாய்மத்திலேற்படும் ஆற்றலிழப்பை நிர்ணயி.

7·2. இரண்டு இணைத்தளங்களுக்கிடையே ஏற்படும் படல ஓட்டத்தில் உண்டாகும் திசைவேகம், சறுக்குப் பெயர்ச்சி, ஆற்றலிழப்பு முதலியவற்றை வரைபடங்கள் மூலம் விளக்குக.

7·3. 100 மிமீ கனத் தண்டிற்கும் (plunger) உருளைக்குமிடையேயுள்ள இடைவெளி 0·1 மிமீ ஆகும். தண்டின் நீளம் 80 மிமீ. உருளையில் 0·35 பாய்ஸ் பாகுநிலையுள்ள எண்ணெயின் அழுத்தம் 10 கிகிஎ/செமீ^{2} ஆனால் அந்த இடைவெளி வழியாக வெளிவரும் எண்ணெயின் பாயுவீதம் என்ன ?

7·4. ஒரு தடைக்கருவியில் (dash pot) 100 மிமீ விட்டமுள்ள தண்டு 100·1 மிமீ விட்டமுள்ள உருளையினுள் நகருகிறது. உருளையில் 0·9 பாய்ஸ் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையுள்ள எண்ணெயிருக்கிறது. அந்தத் தண்டின் நீளம் 200 மிமீ. ஆக இருக்குமானால் தண்டை 0·3 மீ/வி திசைவேகத்தில் நகரச் செய்ய தேவையான விசை என்ன ?

7·5. ஒரு எண்ணெய் என்ஜின் (oil engine) தண்டின் விட்டம் 0·3 மீ; நீளம் 0·4 மீ; விட்ட இடைவெளி (diametral clearance) 0·35 மிமீ ஆகும். தண்டின் நகரும் தூரம் 0·4 மீ. சக்கரம் நிமிடத்திற்கு 600 சுற்றுகள் சுற்றுகிறது. எண்ணெயின் வெப்பநிலை 60°C. எண்ணெயின் பாகுநிலை 1 பாய்ஸாக இருக்குமானால் தேவையான திறன் என்ன?

7·6. 0·3 விட்டமுள்ள இரண்டு வட்டத் தகடுகள் தனித் தனியே எந்திரத் தண்டுகளில் (shafts) பொறுத்தப்

பட்டுள்ளன. அந்த எந்திரத் தண்டுகளில் அச்சுகள் ஒரே கோட்டிலிருக்கும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. இந்த இரண்டு வட்டத் தகடுகளிடையே 0·2 மிமீ இடைவெளியிருக்கிறது. இந்த இடைவெளியில் 6·5 பாய்ஸ் திரவம் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. அவற்றுள் ஒரு தகடு மட்டும் நிமிடத்திற்கு 300 சுற்றுகள் சுற்றுமானல், தேவைப்படும் திறன் என்ன ?

7·7. ஒரு கான்கிரீட் தொட்டியின் அடிப்பாகத்தில் 0·15 மிமீ இடைவெளியுள்ள கீரல் இருக்கிறது. தொட்டியில் நீரின் ஆழம் 3 மீ இருக்கும்போது, 0·3 மீ கனமுள்ள கான்கிரீட் தளத்தின் வழியாக 1 மீ நீளத்தில் நீர் விஞடிக்கு எந்த அளவு வெளிவரும் ? நீரின் வெப்பநிலை 20°C.

7·8. 20 மிமீ இடைத்தூரமுள்ள இரண்டு இணைத்தளங்களுக்கிடையே திரவமானது 1 மீ/வி சராசரித் திசைவேகத்தில் பாய்கிறது. திரவத்தின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலை 2·5 பாய்ஸ் என்றல் தகட்டின் ஒரு பக்கத்திலிருந்து 2·5 மிமீ, 5 மிமீ, 7·5 மிமீ தூரங்களில் திசைவேகங்கள் என்ன ?

7·9. 1 மீ நீளம், 1 மிமீ விட்டமுள்ள நுண்புழைக் குழாயின் வழியாக 0·2 மீ/வி சராசரித் திசைவேகத்தில் 0·6 பாய்ஸ் பாகுநிலையுடைய எண்ணெய் பாயத் தேவையான தலைப்பு என்ன ?

7·10. செங்குத்தாக உள்ள 60 மிமீ விட்டம், 8 மீ நீளமுள்ள எஃகுக் குழாயில் 15°C வெப்பநிலையில் 8·32 பாய்ஸ் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையுள்ள விளக்கெண்ணெய் பாய்கிறது. அதன் கீழ்நோக்கிப் பாயுவீதம் 0·1 கிகி/வி யாகும். அந்தச் செங்குத்துக் குழாயின் மேல் பாகத்தில் இணைக்கப்பட்டுள்ள அழுத்தமானி 1·25 கிகி/செமீ^{2} காட்சிபதிவு செய்தால் அக்குழாயின் நடுப்பாகத்தில் அழுத்தம் என்ன ? விளக்கெண்ணெயின் ஒப்பு அடர்த்தி 0·97.

7·11. ஒரு பாத்திரத்தின் அடியிலுள்ள நுண்புழைக் குழாய் (capillary tube) வழியாக ஒரு குறிப்பிட்ட கொள்ளளவுத் திரவம் பாத்திரத்திலிருந்து வடிய ஆகும் நேரத்திலிருந்து திரவத்தின் பாகுநிலை நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. பாத்திரத்தின் விட்டம் 50 மிமீ. 1 மிமீ விட்டமுள்ள நுண்புழைக்

குழாயின் நீளம் 300 மிமீ. பாத்திரத்தில் 10 செமீ ஆழத்தில் 0·9 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள திரவம் இருக்கிறது. அது 50 செமீ^{3} வடிய 20 நிமிடங்கள் ஆகின்றன. திரவத்தின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலை என்ன ?

7·12. கணக்கு 7·11-ல் பாத்திரத்தில் திரவத்தின் ஆழம் 50 மிமீ ஆக இருக்கும்போது பாயுவீதம் 0·3 செமீ^{3}/வி யானல், இயக்கவிசைப் பாகுநிலை என்ன ?

7·13. 60 மிமீ விட்டமுள்ள கிடைக் குழாயில் 0·4 பாய்ஸ் பாகுநிலையுள்ள எண்ணெய் பாய்கிறது. அக்குழாயில் 3 மீ தூரங்களில் U-குழாய் அழுத்தமானியின் இரு முனைகளும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. பாதரச-எண்ணெய் U-குழாய் அழுத்தமானியில் பாதரச உயர வேறுபாடு 100 மிமீ ஆகும். குழாயில் பாயுவீதம் என்ன ? எண்ணெயின் ஒப்பு அடர்த்தி 0·85.

7·14. ஒரு தொட்டியில் 3 மீ ஆழம் எரிஎண்ணெய் ($S=0{\cdot}968$) (fuel oil) இருக்கிறது. அத் தொட்டியின் ஒரு பக்கத்தில் 20 மிமீ விட்டம், 10 மீ நீளமுள்ள நேரான குழாய் இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது. அக் குழாய் முழுவதும் திறந்திருந்தால் 150°C வெப்பநிலையுடைய எண்ணெய் என்ன பாயுவீதத்தில் வெளிவரும் ? குழாயின் சுவரில் ஏற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு என்ன ?

7·15. 5 மீ நீளமுள்ள குழாயில் 80°C வெப்பநிலையுள்ள கச்சா எண்ணெய் ($S=0{\cdot}855$) (crude oil) 12 மீ தலைப்பில் 1·5 லிட்டர்/வி என்ற பாயுவீதத்தில் வெளிவந்தால் குழாயின் விட்டம் என்ன ?

7·16. கணக்கு 7·15-ல் பாயுவீதத்தை மும்மடங்கு பெருக்க, அதே தலைப்பில் குழாயின் விட்டத்தை எவ்வளவு அதிகரிக்க வேண்டும் ?

7·17. கீழ்க்கண்ட நிலைக்கு ரெயினல்ஸ் எண்ணைக் கணக்கிடு. குழாயின் விட்டம் 30 மிமீ, எண்ணெயின் பாகுநிலை 2·5 பாய்ஸ்; ஒப்பு அடர்த்தி 0·9, பாயுவீதம் 45 லிட்டர்/நிமிடம்.

7·18. கீழ்க்கண்டவற்றில் பாய்ச்சலின் தன்மையை நிர்ணயி. (அ) 15 மிமீ விட்டமுள்ள தண்ணீர்க் குழாயில் 3 மீ/வி திசைவேகத்தில் நீர் பாய்தல், (ஆ) கனமான எரி

எண்ணெய் 100°C வெப்பநிலையில் 15 மிமீ விட்டமுள்ள குழாயில் 2 மீ தலைப்பில் வடிதல்.

7·19. மாறுநிலைத் திசைவேகம் (critical velocity) என்றால் என்ன? 20 மிமீ குழாயில் 1 சென்டிபாய்ஸ் பாகுநிலை யுள்ள சுத்த நீரின் மாறுநிலைத் திசைவேகம் 0·1 மீ/வி என்றால், 25°C வெப்பநிலையுடைய காற்றின் மாறுநிலைத் திசைவேகம் என்ன?

7·20. எரிஎண்ணெய் ($S=0·94$) 40°C வெப்பநிலையில் 10 மீ நீளம் 20 மிமீ விட்டமுள்ள குழாய் வழியாக 0·1 மீ/வி திசை வேகத்தில் ஏற்றப்படுகிறது (pumped). பம்பின் திறம் 70% என எடுத்துக்கொண்டு தேவையான திறனைக் கணக்கிடு.

7·21. 100 மிமீ விட்டம் 100 மீ நீளமுள்ள குழாயின் வழியாக 0·85 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள எண்ணெய் 10 மீ குழாய்மானி அழுத்த வேறுபாட்டில் பாய்ச்சப்படுகிறது. எண்ணை யின் பாயுவீதம் 50 லி/வி. படல ஓட்டம் நிகழுவதாக எடுத்துக்கொண்டு இயக்க, இயக்கவிசைப் பாகுநிலை களைக் கணக்கிடுக.

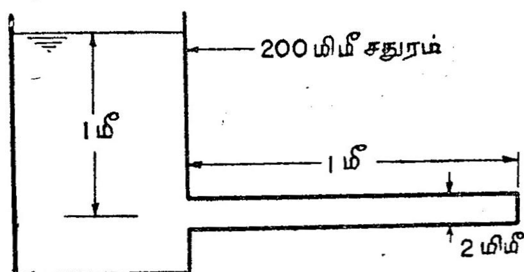
7·22. 50 மிமீ விட்டக் கிடைக்குழாய் வழியாக இயக்கவிசைப் பாகுநிலை 1 பாய்ஸ், 0·88 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள எண்ணெய் பாய்கிறது. 1000 மீ நீளத்தில் அழுத்த வேறுபாடு 20 கிகிஎ/செமீ² ஏற்படுகிறது. குழாயில் திசை வேகப் பகிர்வு $u=u_{பெரும}\left(1-\frac{r^2}{r_o^2}\right)$ என எடுத்துக் கொண்டு (அ) குழாயின் சுவரில் ஏற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு (ஆ) பாயுவீதம் இவற்றைக் காண். ரெயினால்ஸ் எண்ணின் மதிப்பு என்ன?

7·23. 0·9 ஒப்பு அடர்த்தி, 2·5 பாய்ஸ் பாகுநிலையுள்ள எண்ணை யானது 100 மிமீ விட்டம், 500 மீ நீளமுள்ள குழாய் வழி 2 லி/வி வீதத்தில் பாய்கிறது. இதன் ரெயினால்ஸ் எண் என்ன? குழாயின் முடிவு பம்பைவிட 20 மீ உயரத்திலிருக்குமானால், தேவைப்படும் திறன் என்ன? மொத்தத் திறம் 0·65.

7·24. 0·9 ஒப்பு அடர்த்தி, 1·5 பாய்ஸ் பாகுநிலையுள்ள எண்ணெய் 50 மிமீ விட்டம், 10 மீ நீளமுள்ள குழாய் வழியாக $\frac{1}{100}$ மாறுநிலைத் திசைவேகத்தில் பாய்கிறது.

இந்தக் குழாயில் அந்த எண்ணெய் அவ்வீதத்தில் பாய்வதற்குத் தேவையான அழுத்த வேறுபாட்டை எண்ணெயின் உயரத்தில் கணக்கிடு.

7·25. படத்திலுள்ள அமைப்பில் 30 செமீ எண்ணெயின்



உயரம் குறைவதற்குத் தேவையான நேரம் என்ன? எண்ணெ$(S=0\cdot9)$யின் பாகுநிலை$=0\cdot4$ சென்டிபாய்ஸ்.

7·26. 150 மிமீ விட்டமுள்ள குழாய் வழியாகக் கச்சா எண்ணெ $(S=0\cdot925)$ 18·5 லி/வி வீதத்தில் பாய்கிறது. எண்ணெயின் வெப்பநிலை 100°C; பாய்ச்சலின் தன்மை என்ன?

7·27. காற்றானது 60°C வெப்பநிலையில் 0·4 மீ சதுரப் பாய்ம கடத்தியின் வழியாகப் பாய்கிறது. ரெயினால்ஸ் எண் 85,000 என்றால் திசைவேகம் என்ன?

7·28. 50·5 மிமீ உள்விட்டம், 100 மிமீ நீளமுள்ள ஒரு உருளை 50 மிமீ விட்டமுள்ள ஒரு தண்டைச் (shaft) சுற்றியுள்ளது. இவற்றின் இடைவெளியில் 2·5 பாய்ஸ் பாகுநிலையுள்ள உயவெண்ணெய் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. மேலே உள்ள உருளையை 1 மீ/வி திசைவேகத்தில் நகர்த்த என்ன விசை தேவைப்படும்?

7·29. D விட்டம், L நீளமுள்ள ஒரு தள்ளுதண்டு (piston) தடுப்புக் கிண்ணத்தில் (dash pot) h இடைவெளியில் சீரானத் திசைவேகம் v அளவில் நகருகிறது. தள்ளுதண்டின் ஒரு அலகு பரப்பில் ஏற்படும் விசை

$$p=\frac{12\mu VL}{h^3}\left(\frac{D}{4}+\frac{h}{2}\right)$$

என நிரூபி.

7·30. 75 மிமீ விட்டமுள்ள தண்டு (shaft) நிமிடத்திற்கு 180 சுற்றுகள் 75 மிமீ நீளமுள்ள தாங்கியில் சுற்றுகிறது. தாங்கியில் விட்ட இடைவெளி 0·08 மிமீ. இந்தத் தாங்கியில் 450 கிகிஎ பளு இருக்குமானால், SAE 10 உய வெண்ணெயை 40°C வெப்பநிலையில் இடும்போது விநாடிக்கு என்ன ஆற்றலிழப்பு ஏற்படும்?

7·31. ஒரு செங்குத்தான தண்டானது 150 மிமீ விட்டமுள்ள அடிக்கால் தாங்கியில் (footstep bearing) நிற்கிறது. இந்தத் தாங்கியில் இரு அமைப்புகளுக்குமுள்ள இடைவெளி 2 மிமீ. உயவெண்ணெயின் பாகுநிலை 1·5 பாய்ஸ். தண்டானது நிமிடத்திற்கு 1000 சுற்றுகள் சுற்றினால் தேவைப்படும் திறன் என்ன?

7·32. 100·5 மிமீ விட்டமுள்ள உறையில் (sleeve) 100 மிமீ விட்டமுள்ள தண்டு நிமிடத்திற்கு 2880 சுற்றுகள் சுழல்கிறது. இடைவெளி முழுவதும் 0·85 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள உயவெண்ணெய் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. தாங்கியின் நீளம் 300 மிமீ. தேவைப்படும் திறன் 10 பரிதிறன் (7·3 கிவா) என்றால் உயவெண்ணெயின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையைக் காண்.

7·33. கொந்தளிப்புச் செறிவு எவ்வாறு அளக்கப்படுகிறது? கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள திசைவேக அளவுகளிலிருந்து கொந்தளிப்புச் செறிவைக் காண்: ஒரு புள்ளியில் 1 விநாடி இடைநேரத்தில் கீழ்க்கண்ட காட்சி பதிவுகள் எடுக்கப்பட்டன. 4·56, 4·41, 4·75, 4·47, 4·69, 4·57, 4·60, 4·47 மீ/வி.

7·34. கணக்கு 7·33-ல் சராசரித் திசைவேகத்தையும் கொந்தளிப்பு அளவுகோலையும் கணக்கிடு,

7·35. கொந்தளிப்பு ஓட்டம் பற்றிய கொள்கைகளை விளக்குக.

8. எல்லைப் படலக் கொள்கையும் அதன் விளைவுகளும்
(Boundary Layer Theory and Its Effects)

8·1. முன்னுரை

பாய்மத்தின் பாகுநிலை அதிகமாக இருக்கும்போது அப்பாய்மம் பாயும் புலத்தில் திசைவேகப் பகிர்வு பரவளைவு அமைப்பை உடையதாக இருக்குமென அத்தியாயம் 7-ல் பார்த்தோம். பாய்மத்தின் சடத்துவ விளைவுகள் அதிகமாக அதிகமாக, உந்தப் பரிமாற்றத்தால் (momentum exchange) திசைவேகப் பகிர்வு சீராகிறது. எல்லா மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங்களிலும் எல்லைக்கு அருகிலுள்ள பாய்மமானது அந்த எல்லை என்ன திசைவேகத்தை உடையதாக இருக்கிறதோ அதே திசைவேகத்தை உடையதாக இருக்கும். எல்லையானது இடம் பெயருதிருந்தால் அதன் அருகிலுள்ள பாய்மத்தின் திசைவேகம் சுழியாக இருக்கும். எல்லையோரத்தில் வேகமற்ற நிலையிலிருந்து சிறிது தூரத்திற்குள் பாய்மமானது அப்புலத்திலுள்ள முழுத் திசைவேகத்தையும் அடைய வேண்டியதிருக்கிறது. இந்தத் திசைவேக மாறுபாடு எல்லையின் அருகிலுள்ள பகுதியில் ஏற்படுகிறது. இந்தப் பகுதியிலேயேதான் பாகுநிலையின் ஆதிக்கம் அதிகமாக இருக்கிறது; பெரும்பாலான ஆற்றலிழப்பும் ஏற்படுகிறது. இப்பகுதிக்கே எல்லைப் படலம் (boundary layer) எனப் பெயர். இந்தப் பகுதியிலேற்படும் பாய்ச்சலின் முக்கியத்துவத்தை பிராண்டல் (Prandtl) என்ற ஜெர்மானிய விஞ்ஞானி 1904-ஆம் ஆண்டு விளக்கினார். பாய்ச்சல் புலத்தைக் கீழ்க் கண்டவாறு இரண்டாகப் பிரிக்கலாம் என்ற கருத்தையும் அவரே முதற்கண் வெளியிட்டார். (1) எல்லைப் படலத்தில் ஏற்படும் பாய்ச்சல், (2) எல்லைப் படலத்திற்கு அப்பாலுள்ள பகுதியிலேற்படும் பாகுநிலையற்ற அதாவது பிசுபிசுத்தன்மை குறைவான பாய்ச்சல்.

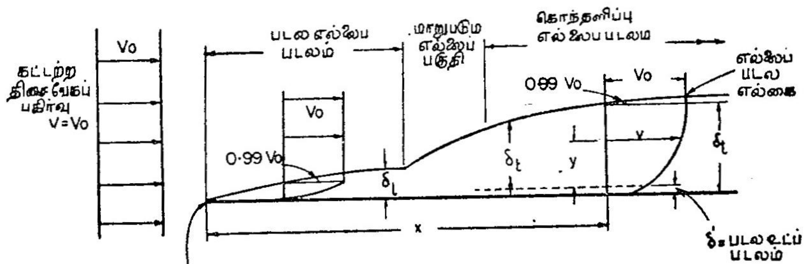
இந்த இரண்டாவது பகுதியிலேற்படும் பாய்ச்சலை இலட்சிய பாய்ம ஓட்டமாக (ideal fluid flow) கருதலாம் என்றார்.

கணித அடிப்படையில் வளர்ந்த இலட்சிய பாய்ம ஓட்டங்கள் பற்றிய நீரியக்க விசையியலுக்கும் (hydro dynamics) மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங்களுக்குமுள்ள தொடர்பை எல்லைப் படலக் கொள்கை (boundary layer theory) விளக்குகிறது. நீரியக்க விசையியல் கணித அடிப்படையில் நன்கு வளர்ந்திருந்த போதிலும் சோதனை முறையில் நாம் அடையும் சில பயன்களை அந்த முறையால் விளக்க முடியாமல் இருந்தது. நீரினுள் முழுவதும் மூழ்கி நகரும் ஒரு கோளத்தில் எந்த விதமான இழுவிசையும் (drag force) ஏற்படாதெனக் கணித அடிப்படையில் விடை கிடைக்கிறது; ஆனால் இது உண்மைக்குப் புறம்பானது. இதையே டிலம்பாட்டு முரண் (D'Alembert's paradox) என்கிறோம். இவ்வாறு ஏற்படுவதற்குக் காரணம் என்ன என்பதை எல்லைப் படலக் கொள்கை விளக்கி, பாய்ம ஓட்டங்களை அறிவியல் அடிப்படையில் ஆராய வழி செய்கிறது. இந்த நூற்றாண்டில் எந்திரப் பாய்மவியலின் (fluid mechanics) முன்னேற்றத்திற்கு எல்லைப் படலக் கொள்கையே முக்கிய காரணமென்றால் அது மிகையாகாது.

இந்த அத்தியாயத்தில் இருபரிமாண நிலையான, அமுக்கமற்ற பாய்ச்சல்களுக்கான எல்லைப் படலக் கொள்கைபற்றி படிப்போம். சில வரையறைகளை (definitions) விளக்கிவிட்டு உந்தக் கொள்கை எவ்வாறு எல்லைப் படலப் பாய்ச்சலுக்குப் பயன்படுகிறது என்பது காட்டப்பட்டுள்ளது. அழுத்தச் சரிவற்ற நிலையில் (with no pressure gradient) வழவழப்பான தட்டைத் தகட்டில்(smooth flat plate) பாய்ச்சலால் ஏற்படும் திசைவேகப் பகிர்வு, உராய்வுக் கெழு, இழுவிசை இவற்றை எவ்வாறு வருவிப்பது என்பதும், எந்த அடிப்படையில் எல்லைகளை வழவழப்பானது அல்லது சொரசொரப்பான(rough)தெனப் பாகுபடுத்துவது என்பதும், எப்போது பாய்ச்சல் எல்லைகளிலிருந்து பிரிகிறது என்பதும் இந்த அத்தியாயத்தில் விவரிக்கப்பட்டுள்ளன. பிரிதல் (separation) ஏற்படுவதால் முழுவதும் மூழ்கிச் செல்லும் பொருள்களில் உராய்வு விசையைத் தவிர அமைப்பு இழுவிசையும்(form drag) ஏற்படுகிறது. அமைப்பு இழுவிசையானது உராய்வால் ஏற்படும் இழுவிசையைக் காட்டிலும் பன்மடங்கு அதிகமாக இருக்கலாம். அமைப்பு இழுவிசை அமுக்கப் பாய்ச்சல்களில் எந்த அளவிற்கு அதிகரிக்கிறது என்பதும், வழவழப்பான, சொரசொரப்பான எல்லைகளில் ஏற்படும் பொது மடக்கைத் திசைவேகப் பகிர்வு (universal logarithmic velocity distribution) பற்றியும் இவ்வத்தியாயத்தில் விளக்கப்பட்டுள்ளன.

8·2. விளக்கங்களும், வரையறைகளும் (Descriptions and Definitions)

எல்லைப் படலங்கள் பற்றிய சிறப்பியல்புகளை மெல்லிய, வழ வழப்பான, நிலையான ஒரு தட்டைத் தகட்டிற்கு இணையாக அழுத்தச் சரிவற்ற நிலையில் பாயும் இருபரிமாணப் பாய்ச்சலின் உதவியால் விளக்குவோம். இதன் அமைப்பு படம் 8·1-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. அந்தத் தட்டைத் தகட்டிற்கு இணையாகப் பாயும்



படம் 8·1. வழவழப்பான தகட்டில் எல்லைப் படல வளர்ச்சி

மெய்ப் பாய்மத்தின் சீரான, கட்டற்ற திசைவேகம் (free stream velocity) V_0-ஆக இருக்கட்டும். அத்தகட்டின் அருகிலுள்ள பாய்மத் துகள்கள் அத்தகட்டின் திசைவேகத்தை உடையதாக இருக்க வேண்டுமாதலால் பாய்மமானது அத்தகட்டின் முன் விளிம்பைக் கடந்த பிறகு ஒவ்வொரு வெட்டுமுகத்திலும் சுழித் திசைவேகத்திலிருந்து V_0 என்ற திசைவேக மதிப்பிற்கு மாற வேண்டியதிருக்கிறது. பாய்மத்தின் பாகுநிலையால் எல்லையருகி லுள்ள பாய்மத் துகள்களின் திசைவேகம் குறைவாக இருக்கும். எல்லையிலிருந்து தூரம் போகப் போக இத் திசைவேகம் அதிகரித்து V_0 என்ற மதிப்பை ஈற்றணுகியாக (asymptotic) அணுகுகிறது. எனவே, எந்தப் பகுதிவரை பாய்மத்தின் பாகுநிலைத் தன்மை ஆட்சியுள்ளதாக இருக்கிறதென திட்டமாகக் கூறுவது கடினம். எல்லையிலிருந்து எந்தத் தூரத்தில் திசைவேகமானது கட்டற்ற திசைவேகத்திற்கு 99 சதவிகிதம் இருக்கிறதோ அந்தத் தூரம் வரை பாய்மத்தின் பாகுநிலைத் தன்மை ஆட்சி செய்யுமென பிராண்டல் ஊகித்தறிந்தார். இந்தத் தூரத்தையே எல்லைப் படலக் கனம் (boundary layer thickness) என்கிறோம். இந்தப் பகுதியில் பாகுநிலைத் தன்மையும் அதன் விளைவுகளும் ஓங்கி இருக்கும். முன் விளிம்பிலிருந்து தூரம் செல்லச் செல்ல எல்லைப் படலக் கனம் அதிகரித்துக் கொண்டே இருக்கும். எவ்வாறு எல்லைப் படலக் கனம் x-திசையில் அதிகரித்துக்கொண்டே

போகிறது என்பது படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளது. படத்தில் செங்குத்து அளவுகோல் மிகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளது. எந்த வெட்டுமுகத்திலும், x-தூரத்தை ஒப்பிடும்போது எல்லைப் படலக் கனம் மிகக் குறைவே.

முன்விளிம்பில் (leading edge) எல்லைப் படலக் கனம் சுழியாகும். முக்கிய பாய்ச்சலானது (main stream) கொந்தளிப்புத் தன்மையுடைத்தாக இருந்தாலும் முன் விளிம்பிலிருந்து சிறிது தூரத்திற்கு எல்லைப் படலத்திலுள்ள பாய்ச்சல் படலத் தன்மையுள்ளதாக இருக்கும். இந்தப் பகுதியில் நியூட்டன் பாகுநிலை விதி பொருந்தும். இப்பகுதியில் ஏற்படும் பாய்ச்சலுக்குப் படல எல்லைப் படல ஓட்டம் (laminar boundary layer flow) எனப் பெயர். முன் விளிம்பிலிருந்து தூரம் செல்லச் செல்ல எல்லைப் பகுதியிலுள்ள அதிகப்படியான பாய்மம் எதிர்முடுக்கத்திற்குள்ளாவதால் பாய்மத்தில் நிலைப்பாடற்ற தன்மை (instability) ஏற்பட்டு, பாய்ம ஓட்டம் கொந்தளிப்பு நிலையை அடைகிறது. எந்தப் பாகத்தில் எல்லைப் படலத்தில் பாய்ம ஓட்டமானது படல நிலையிலிருந்து கொந்தளிப்பு நிலைக்கு மாறுகிறதோ அந்தப் பாகத்திற்கு மாறுபடும் நிலைமண்டலம் (transition region) எனப் பெயர். இந்தப் பாகத்தில் பாய்ம ஓட்டமானது பகுதி படலநிலையிலும், பகுதி கொந்தளிப்பு நிலையிலும், அல்லது ஒரு நிலையிலிருந்து மறு நிலைக்கு மாறிக் கொண்டேயும் இருக்கலாம். இந்தப் பாகங்களை பாகுபடுத்துவதற்கு $R_x = \frac{V_o x}{\nu}$ என்ற ரெயினுல்ஸ் எண் பயன்படுகிறது. இதில் V_o கட்டற்ற திசைவேகத்தையும், x முன் விளிம்பிலிருந்து தூரத்தையும், ν பாய்மத்தின் இயக்கப் பாகுநிலையையும் குறிக்கும். தட்டைத் தகடுகளில், $R_x < 10^5$-ஆக இருந்தால் எல்லைப் படலப் பாய்ச்சலானது படலநிலையிலும், $R_x > 2 \times 10^6$-ஆக இருந்தால் எல்லைப் படலப் பாய்ச்சல் கொந்தளிப்பு நிலையிலும் இருக்கும். தட்டைத் தகட்டில் $\frac{dp}{dx} = 0$. எனவே, p-யின் மதிப்பு x-ஐச் சார்ந்ததன்று. ஆனால் குவியும் பாதைகளில் (convergent passages) $\frac{dp}{dx}$-ன் மதிப்பு எதிராக இருக்கும்; பாய்மம் முடுக்கப்படுகிறது. இந்த முடுக்கத்தால் எல்லைப் படலக் கனத்தின் வளர்ச்சி பாதிக்கப்படுகிறது. எனவே, எதிர் அழுத்தச் சரிவுள்ள பாய்ச்சலில் (flow with negative pressure gradient) δ-வின் மதிப்பு குறைவாகவே இருக்கும். அதேபோல் நேர் அழுத்தச் சரிவுள்ள (positive pressure gradient) பாய்ச்சல் புலத்தில் எல்லைப் படலக் கனம் அதிகரித்துக் கொண்டேயிருந்து பின்னர் பிரிதல்

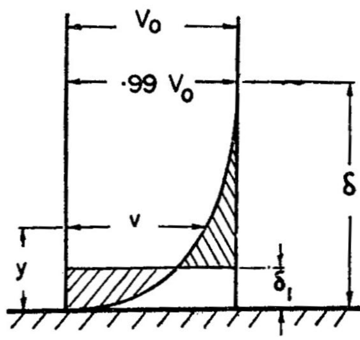
(separation) ஏற்படுகிறது. இதைப் பற்றி பின்வரும் பகுதியில் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

கொந்தளிப்பு எல்லைப் படலப் பாய்ச்சலில் பாய்மத் துகள்கள் ஒன்றோடொன்று கலப்பதால் திசைவேகப் பகிர்வு எல்லையருகில் தவிர மற்ற இடங்களில் சீராக இருக்கும். எல்லையருகில் கொந்தளிப்புத் திசைவேகத்தின் கூறு அழிந்து மடிவதால் அங்கு பாய்மத்தின் பாகுநிலை விளைவுகள் ஓங்கியுள்ளன. இந்த எல்லையருகிலுள்ள சிறிய பகுதிக்குப் படல உட்பிரிவு (laminar sublayer) எனப் பெயர். இந்தப் பகுதியில் பாய்ச்சலானது படலநிலையிலிருக்கும். எனவே, படல உட்பிரிவில் எல்லையிலேற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சி தகைவான τ_0-ஐ நியூட்டன் பாகுநிலை விதியிலிருந்து அடையலாம். τ_0-ன் மதிப்பு $\left(\mu \dfrac{du}{dy}\right)_{y=0}$ க்குச் சமமாக இருக்கும். கொந்தளிப்பு எல்லைப் படலப் பாய்ச்சலில் திசைவேகச் சரிவு எல்லையருகில் மிக அதிகமாக இருக்கும் எனவே, இப்பகுதியில் படல எல்லைப் படலப் பாய்ச்சலைவிட எல்லைச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு பன்மடங்கு அதிகமாக இருக்கும்.

கொந்தளிப்பு எல்லைப் படலப் பாய்ச்சலில் ஏற்படும் கலப்பானது கட்டற்ற பாய்ச்சலுக்கும் பரவுவதால் கொந்தளிப்பு எல்லைப் படலக் கனம், படல எல்லைப் படலக் கனத்தைவிட மிக வேகமாக வளரும்.

8·3. இடப்பெயர்ச்சி, உந்தம், ஆற்றல் கனங்கள் (Displacement, Momentum and Energy Thicknesses)

நிலையான எல்லைகளையுடைய அமைப்புகளில் திசைவேகமானது எல்லையில் சுழியிலிருந்து கட்டற்ற புலத்திலுள்ள திசைவேகமான V_0 வரை படிப்படியாக மாறும் எனப் பார்த்தோம். எல்லைப் படலக் கனத்தை எல்லையிலிருந்து எங்கு திசைவேகம் V_0-ன் மதிப்பிற்கு 1 சதவிகிதம் குறைவாக இருக்கிறதோ அங்கு வரையுள்ள தூரமென வரையறுத்தோம். இந்த வரையறைவிடக் கணித அடிப்படையில் வரையறுக்கப்படும்



படம் 8·2. இடப்பெயர்ச்சிக் கனம்

அளவிற்கு இடப்பெயர்ச்சிக் கனம் (displacement thickness) எனப் பெயர். இது வசதியானதும், பொருள் செறிவானது மாகும். எல்லையருகில் திசைவேகம் குறைவதால் எல்லைக்கு நேர்குத்துத் திசையில் புற இழைக் கோடு இடம் பெயரும் தூரத்தை இடப்பெயர்ச்சிக் கனம் என வரையறுக்கிறோம். எல்லையிலிருந்து y தூரத்தில் திசைவேகம் v-ஆக இருக்குமானால், படம் 8·2-ல் உள்ளபடி $y=\delta_1$ என்ற தூரத்தில் கோடிட்ட பரப்புகள் சமமாக இருக்கும்படி எல்லைக்கு இணையாக ஒரு கோடு வரையப்படுகிறது. கணிதப்படி δ_1 என்ற தூரமானது,

$$\delta_1=\frac{1}{V_\circ}\int_0^\infty (V_\circ-v)dy=\int_0^\infty \left(1-\frac{v}{V_\circ}\right)dy \qquad (8{\cdot}1)$$

சமன்பாடு 8·1-ன் தொகையீட்டில் உச்சவரம்பு ∞ எனக் குறிக்கப் பட்டுள்ளது. ஆனால் உச்சவரம்பு δ-வைவிட எந்த உயர்ந்த மதிப்பாக இருந்தாலும் போதும்.

எல்லையருகில் திசைவேகம் கட்டற்ற திசைவேகத்திலிருந்து குறைவதால் ஏற்படும் உந்தக் குறைவானது $\int_0^\infty \rho(V_\circ-v)v\,dy$ ஆகும். இதில் v என்பது எல்லையிலிருந்து y தூரத்திலுள்ள திசைவேகத்தையும், $V_\circ$ என்பது கட்டற்ற திசைவேகத்தையும் குறிக்கும். உராய்வற்ற அதாவது பாகுநிலையற்ற ஓட்டங்களில், இந்த உந்தமானது θ கனமுள்ள பகுதியில் நிகழுமானால் அந்த உந்தத்தின் மதிப்பானது $(\rho V_\circ\theta)\ V_\circ$ ஆகும்.

எனவே,

$$\rho V_\circ^2\theta=\int_0^\infty \rho(V_\circ-v)v\,dy$$

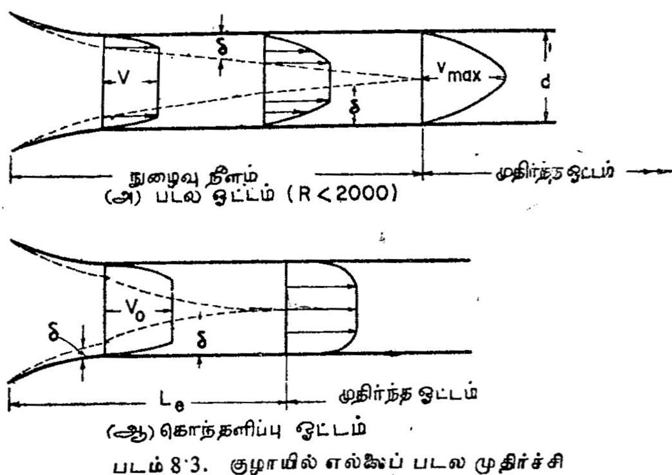
$$\theta=\int_0^\infty \frac{v}{V_\circ}\left(1-\frac{v}{V_\circ}\right)dy \qquad (8{\cdot}2)$$

இதேபோல் ஆற்றல் கனமானது,

$$\zeta=\int_0^\infty \frac{v^2}{V_\circ^2}\left(1-\frac{v}{V_\circ}\right)dy \qquad (8{\cdot}2\text{-அ})$$

8·4. வட்டக் குழாய்களில் ஓட்டத்தின் வளர்ச்சி (Development of Flow in Circular Pipes)

வழவழப்பான தட்டைத் தகட்டில் சுழி அழுத்தச் சரிவில் எவ்வாறு எல்லைப் படலம் வளர்ச்சியடைகிறது என்பது விளக்கப் பட்டது. பொருளின் அமைப்பு எத்தன்மைத்தாயிருப்பினும் இப்படிப்பட்ட எல்லைப் படல வளர்ச்சி ஏற்படுகிறது. நேரான, சீரான வட்ட வடிவக் குழாயில் எல்லைப் படலம் எவ்வாறு படல, கொந்தளிப்பு நிலைகளில் வளர்கிறது எனப் பார்ப்போம்.



படம் 8·3. குழாயில் எல்லைப் படல முதிர்ச்சி

ஒரு பெரிய தொட்டியிலிருந்து மணிக்கூண்டின் அமைப்பை யுடைய நுழைவாய் வழியாக ஒரு வட்டக் குழாய்க்குள் நீர் பாய் வதை எடுத்துக்கொள்வோம். (படம் 8·3.) நுழைவாயில் திசை வேகம் வெட்டுமுகம் முழுவதும் ஒரே சீராக இருக்கும். குழா யானது நிலையாக இருப்பதால் நீர் குழாயினுள் நுழைந்ததும் எல்லையருகிலுள்ள பாய்மத் துகள்களின் திசைவேகம் குறைகிறது. எனவே, படல எல்லைப் படலமானது (laminar boundary layer) வளரத் தொடங்கி, படிப்படியாக வளர்ந்து குழாயின் அச்சைச் சிறிது தூரம் கழித்து அடைகிறது. குழாயின் வழி பாயும் பாய்மத் தின் வீதம் சீராக மாறுமல் இருப்பதால் சறுக்குப் பெயர்ச்சியற்ற நடுப்பாகத்தில் திசைவேகமானது பாய்மம் பாயும் திசையிலுள்ள ஒவ்வொரு வெட்டு முகத்திலும் அதிகரித்துக் கொண்டே வருகிறது. பாய்ச்சல் படல நிலையிலிருந்தால் திசைவேகம் அதிகமாகி பர வளைவு அமைப்புள்ள திசைவேகப் பகிர்வு உண்டாகிறது; குழா யின் அச்சில் பெரும திசைவேகம் ஏற்படும். இவ்வாறு குழாயின்

முழு வெட்டுப்பரப்பிலும் படலநிலைப் பாய்ச்சல் ஏற்படுவதற்கான தூரத்தை நுழைவு நீளம் (entrance length) l_e என்கிறோம். இது படம் 8·3 (அ)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. சோதனைகளிலிருந்து,

$$\frac{l_e}{D} = 0{\cdot}065\, R \tag{8·3}$$

என அறிகிறோம். இதில் $R = \frac{VD}{\nu}$. V என்பது சராசரித் திசை வேகத்தையும், D விட்டத்தையும், ν பாய்ம இயக்கப் பாகுநிலையையும் குறிக்கும். இந்தத் தூரந்திற்குப் பிறகே பாய்ச்சலானது முழுமையாகப் படலநிலையை அடைந்து, அதன் பின் எந்த வெட்டு முகத்திலும் பரவளைவு திசைவேகப் பகிர்வு உடையதாக இருக்கும். குழாய்களில் படலநிலை $R = 2000$ வரை ஏற்படுமாதலால் நுழைவு நீளத்தின் உச்ச மதிப்பு குழாயின் விட்டத்திற்கு 130 மடங்காகும். கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களில் இந்த எல்லைப் படல வளர்ச்சி விரைவில் ஏற்படுகிறது. எனவே, நுழைவு நீளம் 50 விட்டங்களாகக் குறைகிறது.

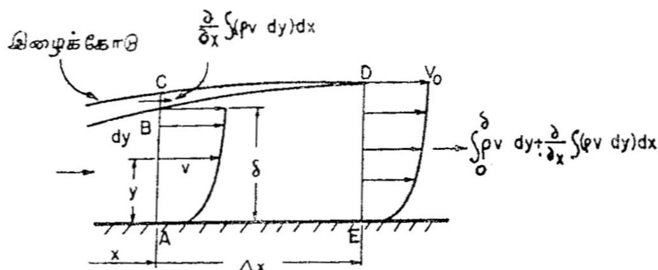
குழாயின் மத்திய பகுதியிலேற்படும் அழுத்த ஓட்டத்தில் (potential flow) முடுக்கம் ஏற்படுவதற்குத் தேவையான அழுத்த வேறுபாடு வேண்டியதிருக்கிறது. எனவே, AB என்ற இந்த நுழைவு நீளத்தில் தடையால் ஏற்படும் அழுத்த இழப்பானது படல, கொந்தளிப்பு நிலை ஓட்டங்களில் முழுவதும் வளர்ச்சியுடைந்த எல்லைப் படல ஓட்டங்களைவிட அதிகமாக இருக்கும். முழு வளர்ச்சியடையும் பகுதிவரை மத்திய பகுதியில் பெர்னூலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தலாம். இப்பகுதியில் திசைவேகப் பகிர்வு சீராக இருப்பதைக் காண்க.

8·5. உந்தச் சமன்பாட்டை எல்லைப் படலத்திற்குப் பயன்படுத்தல்

திசைவேக மாறுபாடும் அந்த மாறுபாட்டால் ஏற்படும் உராய்வு இழுவிசையும் (frictional drag) எல்லைப் படலத்திலேயே நிகழுகின்றன. எவ்வாறு இந்த உராய்வு இழுவிசையைக் கணக்கிடுவது என்பது எல்லைப் படல ஆய்வுகளில் ஒன்றாகும். உராய்வு இழுவிசையை உந்தச் சமன்பாடு சம்பந்தமான கொள்கையின் உதவியால் வருவிக்கலாம்.

V_0 மதிப்புள்ள நிலையான கட்டற்ற திசைவேகத்தில் பாய்ச்சலுக்கு இணையாக ஒரு இருபரிமாணத் தகடு இருப்பதாக எடுத்துக் கொள்வோம். இந்தப் பாய்ச்சலில் அழுத்தச் சரிவு சுழியாகும்.

படம் 8·4-ல் உள்ளபடி AE என்ற மிகச் சிறிய தூரமான Δx தகட்டின் முன் விளிம்பிலிருந்து x தூரத்தில் இருக்கிறது. எல்லைப் படலத்தின் புறப்பக்கம் (outer layer) BD ஆகும். இந்தக் கோடு



படம் 8·4. எல்லைப் படலத்தின் வழியாக உந்தம்

இழைக்கோடன்று. எனவே, தகட்டின் முன் விளிம்பிலிருந்து தூரம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க அதிகப்படியான பாய்மம் எல்லைப் படலத்தினுள் வரக்கூடும். D என்ற புள்ளியின் வழியாகச் செல்லும் இழைக் கோடு CD-ஆக இருக்கட்டும். இழைக் கோட்டிற்குக் குறுக்காகப் பாய்மம் பாயாததலால் ED என்ற பக்கத்தின் வழியாக நுழையும் பொருண்மையின் வீதம், புறப்பக்க மான BD, பக்கம் AB என்பவற்றின் வழியாகப் பாயும் பொருண்மை வீதங்களின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாக இருக்க வேண்டும்.

இப்போது ஒரு அலகு அகலமுள்ள தகட்டை மட்டும் எடுத்துக் கொண்டால் AB என்ற பக்கம் வழியாகப் பாயும் பொருண்மை வீதம் $\int_0^\delta \rho v dy$ ஆகும். எனவே, உந்தவீதம் $\int_0^\delta \rho v^2 dy$-ஆக இருக்கும். ED என்ற பக்கத்தின் வழியாகப் பாயும் பொருண்மைவீதமானது,

$$\int_0^\delta \rho v dy + \frac{\partial}{\partial x}\int_0^\delta (\rho v dy)\ dx$$

உந்தவீதமானது,

$$\int_0^\delta \rho v^2 dy + \frac{\partial}{\partial x}\int_0^\delta (\rho v^2 dy)\ dx$$

நிலையான, அமுக்கமற்ற பாய்ச்சலில் தொடர்ச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

ED வழியாகப் பாயும் பொருண்மை வீதம்
=AC வழியாகப் பாயும் பொருண்மை வீதம்,

=AB வழியாகப் பாயும் பொருண்மைவீதம்+
BC வழியாகப் பாயும் பொருண்மை வீதம்

எனவே, BC வழியாகப் பொருண்மை வீதம்= $\frac{\partial}{\partial x}\int_0^\delta (\rho v dy)dx$

எல்லைப் படலத்தின் பக்கமான BD-யில் திசைவேகமானது கட்டற்ற திசைவேகம் V_0-க்குச் சமம் என எடுத்துக் கொண்டால், BC வழியாகப் பாயும் உந்தவீதம்,

$$V_0 \frac{\partial}{\partial x}\int_0^\delta (\rho v dy)\, dx$$

எனவே, ACDE என்ற ஆட்சி பருமன் (control volume) வழியாகச் செல்லும் உந்தத்தின் அதிகரிப்பானது

=ED வழியாகச் செல்லும் உந்தவீதம்—(AB வழியாகச் செல்லும் உந்தவீதம்+BC வழியாகச்செல்லும் உந்தவீதம்)

$$=\left[\int_0^\delta \rho v^2 dy+\frac{\partial}{\partial x}\int_0^\delta (\rho v^2 dy)dx\right]$$

$$-\left[\int_0^\delta \rho v^2 dy+V_0 \frac{\partial}{\partial x}\int_0^\delta (\rho v dy)\, dx\right]$$

$$=\frac{\partial}{\partial x}\int_0^\delta (\rho v^2 dy)\, dx - V_0 \frac{\partial}{\partial x}\int_0^\delta (\rho v dy)dx$$

உந்தக் கொள்கைப்படி மேலேயுள்ள கோவையானது ஆட்சி பருமனில் செயற்படும் புறவிசைக்குச் சமமாகும். $\frac{dp}{dx}$-ன் மதிப்பு சுழியாக இருப்பதாலும், BD என்ற பக்கத்தில் விசையானது

புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு சிறியதாக இருக்குமாதலாலும், அந்த ஆட்சிபருமனில் செயற்படும் ஒரே விசையானது தகட்டில் AE என்ற பக்கத்தில் செயற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசையாகும். எனவே,

$$-\tau_0\,dx = \frac{\partial}{\partial x}\int_0^{\delta}(\rho v^2 dy)\,dx - V_0\frac{\partial}{\partial x}\int_0^{\delta}(\rho v dy)dx$$

சுருக்கினுல்,

$$\tau_0 = \frac{\partial}{\partial x}\int_0^{\delta}\rho(V_0 - v)\,v dy$$

$$\frac{\tau_0}{\rho} = V_0^2\,\frac{\partial}{\partial x}\int_0^{\delta}\frac{v}{V_0}\left(1-\frac{v}{V_0}\right)dy$$

அதாவது,

$$\frac{\tau_0}{\rho V_0^2} = \frac{\partial\theta}{\partial x} \tag{8·4}$$

இதில் θ என்பது உந்தக் கனத்தைக் (momentum thickness) குறிக்கும். இந்தச் சமன்பாட்டிற்கு எல்லைப் படலப் பாய்ச்சல் பற்றிய வான் கார்மன் உந்தச் சமன்பாடு (Von Karman momentum equation) எனப் பெயர். இந்தச் சமன்பாடு படல, மாறுபடும், கொந்தளிப்பு நிலைகளிலுள்ள எந்தப் பாய்ச்சலுக்கும் பொருந்தும். உந்தக் கனத்தைக் கணக்கிட, அவ் வெட்டு முகத்திலுள்ள திசை வேகப் பகிர்வு தெரியவேண்டும். இத் திசைவேகப் பகிர்வை தற் கோள் கொண்டால் கீழ்க்கண்ட எல்லை நிபந்தனையும் பூர்த்தி செய்யவேண்டும். (அ) y-ன் மதிப்பு சுழியாக இருக்கும்போது, $v=0$; $\frac{dy}{dx}$-க்கு முடிவுள்ள (finite) மதிப்பு இருக்கவேண்டும்.

(ஆ) y-ன் மதிப்பு δ-ஆக இருக்கும்போது $v=V_0$; $\frac{dv}{dy}=0$.

படல, கொந்தளிப்பு எல்லைப் படலப் பாய்ச்சல்களுக்குச் சமன் பாடு 8·4-ஐப் பயன்படுத்தி வழவழப்பான தட்டைத் தகடுகளில் உராய்வு இழுவிசையைக் (frictional drag) கணிக்கலாம். ஆனுல் பொருத்தமான திசைவேகப் பகிர்வுகளை தற்கோள் கொள்ள வேண்டும்.

8·6. தட்டைத் தகட்டில் படலநிலை எல்லைப் படலம் (Laminar Boundary Layer in Flat Plates)

ஒரு வழவழப்பான தட்டைத் தகட்டின் மேல் இருபரிமாண, நிலையான அழுத்தச் சரிவற்ற பாய்ச்சல் படலநிலையில் நிகழும்போது அதிலுண்டாகும் எல்லைப் படலக் கனம், முன்விளிம்பிலிருந்து x தூரத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு, சராசரி இழுவிசைக் கெழு இவற்றை கணக்கிடுவோம். அதற்குக் கீழ்க்கண்ட திசை வேகப் பகிர்வைத் தற்கோள் கொள்வோம்.

$$\frac{v}{V_0} = 2\frac{y}{\delta} - \left(\frac{y}{\delta}\right)^2 \qquad (8\cdot5)$$

இதில் v என்பது எல்லையிலிருந்து y தூரத்திலுள்ள திசை வேகத்தையும், δ எல்லைப் படலக் கனத்தையும் குறிக்கும். கீழ்க் கண்ட எல்லை நிபந்தனைகளையும் சமன்பாடு 8·5 பூர்த்தி செய்கிறது.

$y=0$-ஆக இருக்கும்போது $v=0$

$y=\delta$-ஆக இருக்கும்போது $v=V_0$

மேலும் $\frac{\partial v}{\partial y}=0$ ஆகும்.

சமன்பாடு 8·5-ஐச் சமன்பாடு 8·4-ல் இட்டால்,

$$\tau_0 = \rho V_0^2 \frac{\partial}{\partial x}\int_0^{\delta}\left[2\frac{y}{\delta}-\left(\frac{y}{\delta}\right)^2\right]\left[1-2\frac{y}{\delta}+\left(\frac{y}{\delta}\right)^2\right]dy$$

இதிலிருந்து,

$$\tau_0 = \frac{2}{15}\rho V_0^2 \frac{\partial \delta}{\partial x}$$

எல்லையருகில் ஏற்படும் படலப் பாய்ச்சலுக்கு நியூட்டன் பாகு நிலை விதி பொருந்தும். எனவே, சமன்பாடு 1·4-ஐச் சமன்பாடு 8·5-ல் இட்டால்,

$$\tau_0 = \mu\left(\frac{dv}{dy}\right)_0 = \mu\frac{\partial}{\partial y}\left[2V_0\left(\frac{y}{\delta}\right) - V_0\left(\frac{y}{\delta}\right)^2\right]_{y=0}$$

$$\tau_0 = \frac{2\mu V_0}{\delta}$$

சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவுக்கான இரண்டு மதிப்புகளையும் சமன்படுத்தினல்,

$$\frac{2}{15}\rho V_0^2 \frac{\partial \delta}{\partial x} = \frac{2\mu V_0}{\delta}$$

(அ-து) $$\delta\,\partial\delta = \frac{15\mu}{\rho V_0}\partial x$$

தொகையிட்டால்,

$$\frac{\delta^2}{2} = \frac{15\mu x}{\rho V_0} + C$$

x-ன் மதிப்பு சுழியாக இருக்கும்போது δ-வின் மதிப்பு சுழியாகும். எனவே, $C=0$.

இப்போது படல எல்லைப் படலக் கனமானது,

$$\delta = \frac{5\cdot48x}{\sqrt{\frac{\rho V_0 x}{\mu}}} = \frac{5\cdot48x}{\sqrt{R_x}} \tag{8·6}$$

எனவே, முன் விளிம்பிலிருந்து x-ன் தூரத்திற்கு நேர்விகிதத்தில் எல்லைப் படலக் கனம் அதிகரிக்கிறது. கட்டற்ற திசைவேகம் அதிகரிக்கும்போது எல்லைப் படலக் கனம் குறைகிறது. ரெயினல்ஸ் எண்ணிலுள்ள நீள உறுப்பானது முன் விளிம்பிலிருந்து உள்ள தூரத்தைக் குறிக்கும். எனவே, இதை இடஞ்சார்ந்த ரெயினல்ஸ் எண் (local Reynolds' number) என்கிறோம்.

தகட்டில் முன் விளிம்பிலிருந்து x தூரத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவானது,

$$\tau_0 = \frac{2\mu V_0}{\delta} = \frac{2\mu V_0\sqrt{R_x}}{5\cdot48x} = \frac{0\cdot73}{\sqrt{R_x}}\,\frac{\rho V_0^2}{2}$$

τ_0 என்பதை $c_f\rho\frac{V_0^2}{2}$ என்பதால் குறிப்பிட்டால் இடஞ்சார்ந்த உராய்வுக் கெழுவான (local skin friction coefficient) c_f-ன் மதிப்பானது,

$$c_f = \frac{0\cdot73}{\sqrt{R_x}} \tag{8·7}$$

ஆகும். இப்போது $x=0$ முதல் $x=l$ வரையுள்ள தூரத்தில் ஒரு அலகு அகலத்தில் தகட்டின் ஒரு பக்கம் மட்டும் ஏற்படும் மொத்த உராய்வு இழுவிசையானது (frictional drag),

$$F=\int_0^l \tau_0 dx=0{\cdot}365\, V_0\sqrt{\rho V_0 \mu}\int_0^l x^{-1/2}dx$$

$$=0{\cdot}73 V_0\sqrt{\rho V_0 \mu l}$$

சாராசரி உராய்வு இழுவிசைக் கெழு C_f ஆனது $\frac{F}{\frac{1}{2}\rho V_0^2 l}$ என வரையறுக்கப்படுவதால்,

$$C_f = \frac{0{\cdot}73 V_0 \sqrt{\rho V_0 \mu l}}{\frac{1}{2}\rho V_0^2 l} = \frac{1{\cdot}46}{\sqrt{R_l}} \tag{8·8}$$

வேறுபல திசைவேகப் பகிர்வுகளுக்கு அட்டவணை 8·1-ல் δ, C_f இவற்றின் மதிப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

அட்டவணை 8·1

$\frac{v}{V_0}$	$\frac{\delta\sqrt{R_x}}{x}$	$C_f\sqrt{R_l}$
$2\left(\frac{v}{V_0}\right)-\left(\frac{v}{V_0}\right)^2$	5·48	1·46
$3\left(\frac{v}{V_0}\right)-\left(\frac{v}{V_0}\right)^2$	4·64	1·292
$2\left(\frac{v}{V_0}\right)-\left(\frac{v}{V_0}\right)^3+\left(\frac{v}{V_0}\right)^4$	5·84	1·037
$\sin\left(\frac{\pi}{2}\frac{v}{V_0}\right)$	4·80	1·31
பிளாசியஸ் தீர்வு	—	1·328

திசைவேகப் பகிர்வானது V_0 என்ற திசைவேகத்தை ஈற்றணுகி முறையில் அணுகுவதாக எடுத்துக் கொண்டு பிளாசியஸ் (Blasius) சுழி அழுத்தச் சரிவுள்ள நிலையான ஓட்டத்தில்

வழவழப்பான தட்டைத் தகட்டில் படல எல்லைப் படல சமன் பாட்டைக் கொள்கை அடிப்படையில் வருவித்தார். பிளாசியஸின் திருத்தமான (exact) தீர்வுகள் உந்தக் கொள்கை அடிப்படையில் வருவிக்கப்பட்ட தீர்வுகளுடன் பெரும்பாலும் ஒத்திருப்பது நோக்கற்பாலது. பிளாசியஸ் முடிவுகளானது $u=0{\cdot}992V_o$-ஆக இருக்கும்போது $\delta=\frac{5x}{\sqrt{R_x}}$ ஆகவும், $v=0{\cdot}994V_o$-ஆக இருக்கும் போது $\delta=\frac{6{\cdot}01x}{\sqrt{R_x}}$ ஆகவும் இருக்கின்றன.

படலநிலை எல்லைப் படலக் கனமானது மிகக் குறைவாக இருக்கும். மேலும் அது முன் விளிம்பிலிருந்து சிறிது தூரத்திற்கே இருக்கும். பின்னர் எல்லைப் படலத்தில் நிலைப்பாடற்றதன்மை தோன்றி R_x-ன் மதிப்பு 2×10^5-க்கு அதிகமாகுமானால் கொந் தளிப்புநிலை ஏற்படுகிறது. இந்த நிலை மாற்றமானது, (அ) கட்டற்ற பாய்ச்சலிலுள்ள கொந்தளிப்பு (turbulence) (ஆ) தகட்டின் சொரசொரப்பு (roughness), (இ) முன் விளிம்பின் அமைப்பு இவற்றைப் பொருத்தது.

மாதிரிக் கணக்கு 8·1. ஒரு வழவழப்பான இருபரிமாண தட்டைத் தகடு 360 கிமீ/மணி திசைவேகமுள்ள காற்றிற்கு இணையாக இருக்கிறது. படலநிலை எல்லைப் படலம் $R_x=2\times10^5$ வரை இருப்பதாக எடுத்துக்கொண்டு முன் விளிம்பிலிருந்து எந்த உச்ச தூரம் வரை படலநிலை எல்லைப் படலம் நிகழும் என்பதையும் அந்த எல்லைப் படலக் கனத்தையும் கணக்கிடு.

$$V=360 \text{ கிமீ/மணி}=\frac{360\times1000}{60\times60}=100 \text{ மீ/வி}$$

இப்போது $R_x=\frac{V_x}{\nu}$

$$\therefore \quad 2\times10^5=\frac{100\times x}{1{\cdot}49\times10^{-5}}$$

$$x=2{\cdot}98\times10^{-2}m=2{\cdot}98 \text{ செமீ.}$$

சமன்பாடு 8·6-ஐப் பயன்படுத்தி,

$$\delta_{\text{பெருமம்}}=\frac{5{\cdot}48\times2{\cdot}98\times10^{-2}}{\sqrt{2\times10^5}}=3{\cdot}66\times10^{-4} \text{ மீ}$$

$$=0{\cdot}366 \text{ மிமீ.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 8·2. 0·3 மீ அகலம், 1·0 மீ நீளமுள்ள வழ வழப்பான தட்டைத் தகடு 4 மீ/வி திசைவேகத்தில் சலனமற்ற வளிமண்டலத்தில் கிடைநிலையில் நகருகிறது. காற்றின் அடர்த்தி 1·20 கிகி/மீ³; இயக்கப் பாகுநிலை $=1{\cdot}49\times10^{-5}$ மீ²/வி. காற்றின் வேகத்திற்கு (அ) 0·3 மீ பக்கம், (ஆ) 1·0 மீ பக்கம் இணையாக இருக்கும்போது அந்தத் தகட்டில் ஏற்படும் இழுவிசையைக் கணக்கிடு. ஏன் இழுவிசையில் வேறுபாடு இருக்கிறது என்பதை விளக்குக.

0·3 மீ பக்கம் இணையாக இருக்கும்போது, $x=0{\cdot}3$ மீ தூரத்தில் ரெயினல்ஸ் எண்ணனது,

$$R=\frac{4\times0{\cdot}3}{1{\cdot}49\times10^{-5}}=8{\cdot}05\times10^4$$

1·0 மீ பக்கம் இணையாக இருக்கும்போது,

$$R=\frac{4\times1{\cdot}0}{1{\cdot}49\times10^{-5}}=2{\cdot}69\times10^5$$

எனவே, இரண்டு நிலைமைகளிலும் எல்லைப் படலமானது படலத் தன்மையுடையன. 0·3 மீ பக்கம் பாய்ச்சல் திசைக்கு இணையாக இருக்கும்போது, சமன்பாடு 8·8-லிருந்து,

$$C_f=\frac{1{\cdot}46}{\sqrt{8\times0{\cdot}5\times10^4}}=0{\cdot}00515$$

தகட்டின் இரு பக்கங்களிலும் ஏற்படும் இழுவிசை,

$$F=2\times A\times C_f\times\tfrac{1}{2}\rho V^2$$

$$=2\times0{\cdot}3\times0{\cdot}00515\times\tfrac{1}{2}\times1{\cdot}2\times4^2$$

$$=0{\cdot}0302 \text{ நி}$$

MKS முறையில்

$$F=2\times A\times C_f\times\tfrac{1}{2}\frac{\rho V^2}{9{\cdot}81}=\frac{0{\cdot}0302}{9{\cdot}81}=0{\cdot}00308 \text{ கிகிஎ}$$

1·0 மீ பக்கம் இணையாக இருக்கும்போது,

$$C_f=\frac{1{\cdot}46}{\sqrt{2{\cdot}59\times10^5}}=0{\cdot}00288$$

$$F=2\times0{\cdot}3\times0{\cdot}00288\times\tfrac{1}{2}\times1{\cdot}2\times4^2$$

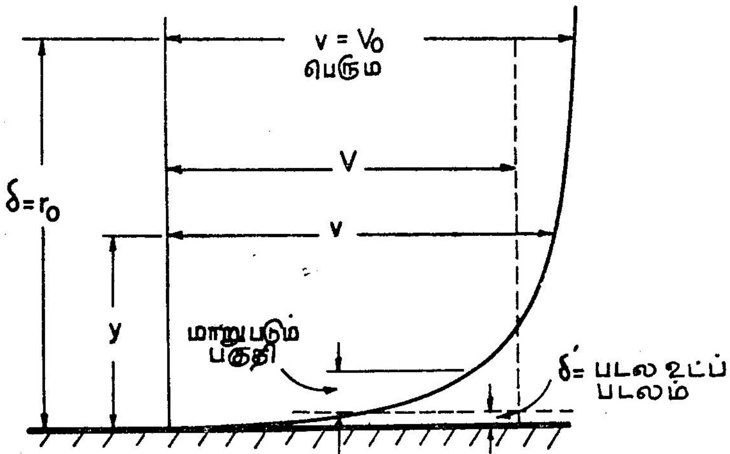
$$=0{\cdot}0104 \text{ நி } (0{\cdot}00106 \text{ கிகிஎ})$$

8·7. தட்டைத் தகட்டில் கொந்தளிப்புநிலை எல்லைப் படலம் (Turbulent Boundary Layer in a Flat Plate)

பல பொறியியற் அமைப்புகளில் ஏற்படும் எல்லைப் படலங்கள் கொந்தளிப்புநிலை யுடையனவே. அழுந்தச் சரிவற்ற பாய்ச்சலில் தட்டைத் தகட்டில் ஏற்படும் எல்லைப் படலக் கனம், இழுவிசை முதலியவற்றை இங்கு வருவிப்போம். படலநிலை எல்லைப் படலத்தைப்போல இப்போதும் C_f, δ முதலியவற்றைக் கணக்கிட திசைவேகப் பகிர்வை ஊகித்துக் கொள்ளவேண்டும். தட்டைத் தகட்டின் மேலுள்ள திசைவேகப் பகிர்வானது வட்டவடிவான குழாயிலுள்ள திசைவேகப் பகிர்வை ஒத்து இருக்குமென பிராண்டல் பின்வருமாறு ஊகித்தறிந்தார்.

$$\frac{v}{V_0}=\left(\frac{y}{\delta}\right)^{\eta} \qquad (8{\cdot}9)$$

நன்கு முதிர்ச்சியடைந்த (fully developed) குழாய்ப் பாய்ச்சலில், எல்லைப் படலக் கனமான δ அந்தக் குழாயின் ஆரம் r_0-க்குச் சம



படம் 8·5. குழாய் ஒட்ட அடிப்படையில் கொந்தளிப்புநிலை எல்லைப் படலம்

மாக இருக்கும். குழாயின் உச்சத் திசைவேகம் அதன் அச்சில் இருக்கும். இந்தத் திசைவேகம் தட்டைத் தகட்டிலுள்ள கட்டற்ற திசைவேகத்தை ஒத்து இருக்கும். (படம் 8·5.) R-ன் மதிப்பு 10^7-க்குள் இருக்கும்போது வழவழப்பான தட்டைத் தகட்டின் மேலேற்படும் கொந்தளிப்புநிலை எல்லைப் படத்திலுள்ள திசைவேகப் பகிர்வில், அதாவது சமன்பாடு 8 9-ல், $n=\frac{1}{7}$-ஆக இருக்கும். R-ன் மதிப்பு அதிகமானல் n-ன் மதிப்பு சிறிது குறைவதாகத்

தெரிகிறது. மேலும் சமன்பாடு 8·9 எல்லையருகில் பொருந்தாது. எல்லையருகில் δ' என்ற தூரம்வரை பாகுநிலை விளைவுகள் ஓங்கியிருக்கின்றன. இந்தப் படல உட்படலத்தில் (laminar sublayer) திசைவேகப் பகிர்வு பரவளைவு (parabola) அமைப்பு உடையதாக இருக்கும். ஆனால் நடைமுறையில் இப்பகுதியில் திசைவேகப் பகிர்வு நேர்கோடாக இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். இப்பகுதி எல்லையிலிருந்து மிகக் குறைந்த தூரம் δ' மட்டும் இருப்பதால் இந்தத் தற்கோள் குறிப்பிடத்தக்க அளவு எந்தவிதமான தவற்றையும் உண்டாக்காது. படல உட்படலத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சி எங்கும் ஒரே அளவினதாகவும் எல்லையிலுள்ள மதிப்பான τ_0-க்குச் சமமாகவும் இருக்குமெனக் கொள்ளலாம். படல உட்படலத்திலுள்ள சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவானது,

$$\tau = \tau_0 = \left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)_{y=0} = \mu \frac{v}{y}$$

$$\therefore \quad v = \frac{\tau_0}{\rho} \frac{y}{\nu}$$

(அ-து)
$$\frac{v}{\sqrt{\frac{\tau^0}{\rho}}} = \frac{\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}}{\nu} y$$

இதில் $\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ -க்குச் சறுக்குத் திசைவேகம் (shear velocity) எனப் பெயர். இதன் பரிமாணம் திசைவேகத்தின் பரிமாணத்திற்குச் சமமாக இருப்பதால் அவ்வாறு அழைக்கப்படுகிறது. இதை v_* எனக் குறிக்கிறோம். இப்போது இந்தப் படல உட்படலத்திலுள்ள திசைவேகப் பகிர்வானது,

$$\frac{v}{v_*} = \frac{v_*}{\nu} y \qquad (8·10)$$

இந்த நேர்விகித திசைவேகப் பகிர்வு (linear velocity distribution) படிப்படியாக ஏழில்-ஒரு பகுதி அடுக்கு விதியுடைய (one-seventh power law) திசைவேகப் பகிர்வாக மாறும். இவ்வாறு மாறுவதால் படலநிலை பாய்ச்சல், கொந்தளிப்புத் தன்மை அடைகிறது. ஆனால் எந்த இடத்தில் இம்மாறுதல் ஏற்படுகிறதென திட்டவட்டமாகக் கூற முடியாது. இதுபற்றி மேலும் இவ்வத்தியாயத்தின் இறுதியில் படிப்போம்.

இப்போது $\tau_\circ$-ன் மதிப்பு தெரிந்தால்தான் உந்தச் சமன் பாட்டைத் தொகையிட முடியும். எனவே, தட்டைத் தகட்டிற்கு வட்டக் குழாய்களில் சோதனைகள்மூலம் அடைந்த கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்துகிறோம்.

$$\tau_0 = 0{\cdot}03325\ \rho V^2\left(\frac{\mu}{\rho V r_0{}^2}\right)^{\frac{1}{4}}$$

இதில் $V_\circ$ என்பது $r_\circ$ ஆரமுள்ள குழாயின் சராசரித் திசை வேகத்தைக் குறிக்கும். $r_\circ$ என்பது δ-க்குச் சமமென்றும், V என்பது $V_\circ$ என்ற கட்டற்ற திசைவேகத்தில் 0·8 பாகம் என்றும் கொண்டால் $\tau_\circ$-ன் மதிப்பு தட்டைத் தகட்டிற்கு,

$$\tau_0 = 0{\cdot}0225\ \rho V_0{}^2\left(\frac{\mu}{\rho V_0 \delta}\right)^{\frac{1}{4}} \qquad (8{\cdot}11)$$

$n=\frac{1}{7}$ என்ற மதிப்பிற்கு சமன்பாடு 8·9-ஐச் சமன்பாடு 8·4-ல் இட்டால்,

$$\frac{\tau_0}{\rho V_0{}^2} = \frac{\partial}{\partial x}\int_0^\delta \left[1-\left(\frac{v}{\delta}\right)^{\frac{1}{7}}\right]\left(\frac{y}{\delta}\right)^{\frac{1}{7}} dy$$

$$= \frac{7}{72}\ \frac{\partial \delta}{\partial x}$$

படல உட்படலம் மிக மெல்லியதாதலால் தொகையீட்டிற் கான வரம்பை நாம் 0-விலிருந்து δ வரை எடுத்திருக்கிறோம். மேலே உள்ள சமன்பாட்டை சமன்பாடு 8·11-க்குச் சமன் படுத்தினல்,

$$\delta^{\frac{1}{4}}\,\partial \delta = 0{\cdot}234\ \left(\frac{\nu}{V_0}\right)^{\frac{1}{4}} \partial x$$

தொகையிட்டால்,

$$\frac{4}{5}\delta^{\frac{5}{4}} = 0{\cdot}234\left(\frac{\nu}{V_0}\right)^{\frac{1}{4}} x + C$$

தொகையீட்டால் ஏற்படும் மாறிலியான C-யின் மதிப்பைக் கணக்கிட, கொந்தளிப்புநிலை எல்லைப் படலம் தகட்டின் முன் விளிம்பிலிருந்து ஆரம்பிப்பதாக எடுத்துக் கொள்வோம். படல நிலை எல்லைப் படலம் முன் விளிம்பிலிருந்து மிகக் குறைந்த தூரத்திற்கு மட்டும் இருப்பதால் இந்தத் தற்கோள் நம்முடைய

பகுப்பாய்வுகளை பாதிக்காதெனக் கொள்ளலாம். எனவே, $x=0$-ஆக இருக்கும்போது $\delta=0$. ஆகவே, $C=0$ ஆதலால் எல்லைப் படலக் கனமானது,

$$\delta=0{\cdot}374\left(\frac{\nu}{V_0}\right)^{\frac{1}{5}} x^{\frac{4}{5}}=\frac{0{\cdot}374x}{R^{x\frac{1}{5}}} \qquad (8{\cdot}12)$$

கொந்தளிப்புநிலை எல்லைப் படலமானது $x^{\frac{4}{5}}$-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கிறது. ஆனால் படல நிலையில் $x^{\frac{1}{2}}$-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும்.

முன் விளிம்பிலிருந்து x தூரத்தில் உள்ள இடத்தில் எல்லையில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவைக் கணக்கிட, சமன்பாடு 8·12-ஐச் சமன்பாடு 8·11-ல் இட்டால்,

$$\tau_0=0{\cdot}058\ \frac{\rho V_0{}^2}{2}\left(\frac{\mu}{\rho V_0 x}\right)^{\frac{1}{5}}$$

எனவே, தகட்டின் ஒரு பக்கத்தில் மட்டும் ஏற்படும் இழுவிசையானது,

$$F=\int_0^l \tau_0 dx=0{\cdot}058\frac{\rho V_0{}^2}{2}\left(\frac{\mu}{\rho V_0}\right)^{\frac{1}{5}}\int_0^l x^{-\frac{1}{5}}\,dx$$

$$=0{\cdot}072\ \frac{\rho V_0{}^2}{2}\,l\left(\frac{\mu}{\rho V_0 l}\right)^{\frac{1}{5}}$$

எனவே, சராசரி உராய்வு இழுவிசைக் கெழுவானது,

$$C_f=\frac{0{\cdot}072}{(R_l)^{\frac{1}{5}}}$$

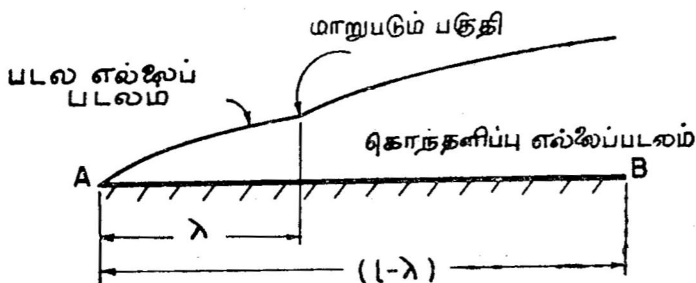
ஆனால் சோதனைகளிலிருந்து இதன் மதிப்பானது,

$$C_f=\frac{0{\cdot}074}{(R_l)^{\frac{1}{5}}} \qquad (8{\cdot}13)$$

எனத் தெரிகிறது. R-ன் மதிப்பு 10^5 முதல் 10^7 வரை இருக்கும் நிலைகளுக்கு மட்டும் மேலே வருவித்துள்ள சமன்பாடுகள் பொருந்தும். R-ன் மதிப்பு 10^7-க்கு அதிகமாகவும் 10^9-க்குக் குறைவாகவும் இருக்குமானால் ஷ்லிஷ்டிங் (Schlichting) கீழ்க் கண்ட அனுபவ சமன்பாட்டை வருவித்தார்.

$$C_f=\frac{0{\cdot}455}{(\log_{10} R_l)^{2.58}} \qquad (8{\cdot}14)$$

வழவழப்பான தட்டைத் தகட்டில் பாய்ச்சலால் ஏற்படும் படலநிலை, கொந்தளிப்பு நிலை எல்லைப் படலங்கள் தட்டின் முழுவதும் பரவியிருப்பதாகக் கொண்டு உராய்வு இழுவிசையை வருவித்தோம். ஆனுல் உண்மையில் தகட்டின் முற்பகுதியில் படலநிலை எல்லைப் படலமும், பின்பகுதியில் எங்கு R_x-ன் மதிப்பு 2×10^5 முதல் 5×10^5 வரை இருக்கிறதோ அங்கு ஏதாவது ஒரு இடத்தில் படலநிலை கொந்தளிப்புநிலையாக மாறுகிறது. எங்கு இந்த மாறுதல் ஏற்படுகிறது என்று திட்டமாகக் கூற முடியாது. படம் 8·6-ல் உள்ளபடி முன் விளிம்பிலிருந்து λ என்ற தூரம்



படம் 8·6. தட்டைத் தகட்டில் எல்லைப் படலம்

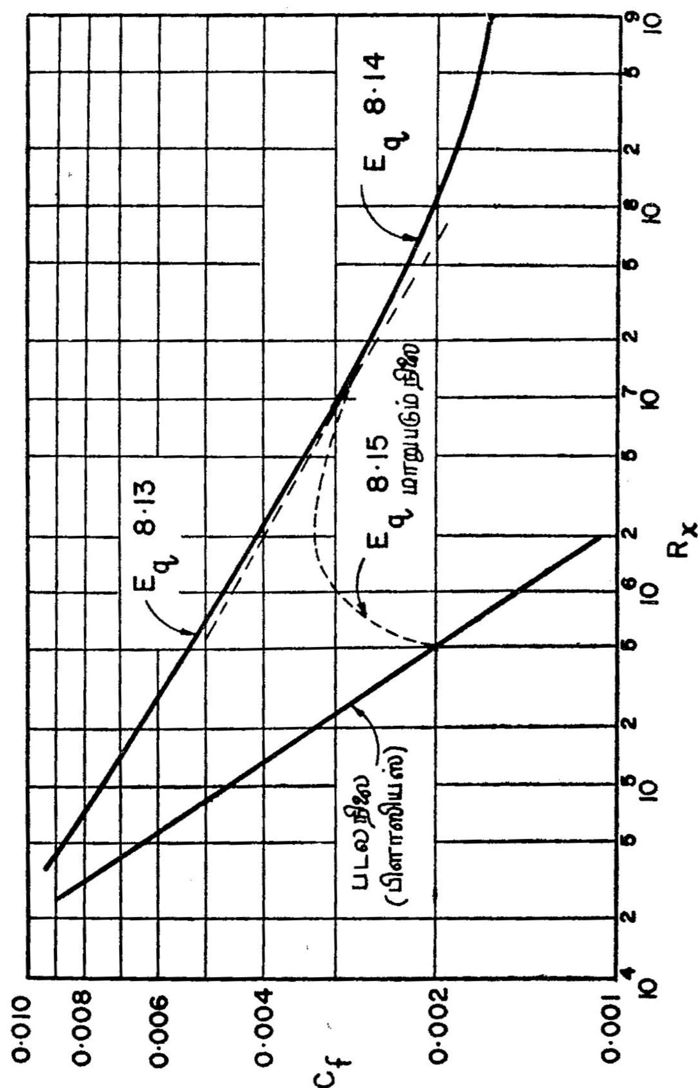
வரை படலநிலை எல்லைப் படலமும், $(l-\lambda)$ என்ற பகுதியில் கொந்தளிப்புநிலை எல்லைப் படலமும் இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். முதற்கண் தகடு முழுவதும் கொந்தளிப்பு நிலை எல்லைப் படலம் வியாபித்து இருப்பதாகக் கொண்டு இழுவிசை கணக்கிடப் படுகிறது. பின்னர் λ தூரம் வரையுள்ள இழுவிசையின் மதிப்பைக் கழித்துவிட்டு, அதற்குப் பதில் படலநிலை எல்லைப் படலத்தால் ஏற்படும் இழுவிசை கணக்கிடப்பட்டு முன்னதுடன் கூட்டப்படுகிறது. எனவே, ஒரு அலகு அகலமுள்ள தட்டைத் தகட்டில் ஏற்படும் இழுவிசையின் மதிப்பானது,

$$F=\tfrac{1}{2}\rho V_{\circ}^{2}l\left[\frac{0{\cdot}455}{(\log_{10}R_l)^{2\cdot58}}-\frac{0{\cdot}074\lambda}{R_{\lambda}^{\frac{1}{5}}}+\frac{1{\cdot}328\lambda}{R_{\lambda}^{\frac{1}{2}}}\right] \qquad (8{\cdot}15)$$

R-ன் மதிப்பு 10^7-க்கு அதிகமாக இருக்கும்வரை சமன்பாடு 8·15 பொருந்தும். R-ன் மதிப்பு 10^5-க்கும் 10^7-க்கும் இடையில் இருக்கும்போது,

$$C_f=\frac{0{\cdot}074}{R_l^{\frac{1}{5}}}-\frac{1700}{R_l} \qquad (8{\cdot}16)$$

வழவழப்பான தட்டைத் தகட்டில் ஏற்படும் சராசரி இழுவிசைக் கெழுவிற்கும் ரெயினல்ஸ் எண்ணிற்குமுள்ள தொடர்பு படம் 8·7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. சொரசொரப்பான



படம் 8·7. ரெயினல்ஸ் எண்ணிற்கும் சராசரி இழுவிசைக் கெழுவிற்குமுள்ள தொடர்பு

தகட்டில் படலநிலையிலிருந்து கொந்தளிப்புநிலை சீக்கிரமாக ஏற்படுகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 8·3. 0·05 ஸ்டோக்ஸ் இயக்கப் பாகுநிலையுள்ள எண்ணெயில் 1·5 மீ நீளம் 0·1 மீ அகலமுள்ள மெல்லிய தட்டையான தகடு முழுவதும் மூழ்கிய நிலையில் 3 மீ/வி திசை வேகத்தில் இழுக்கப்படுகிறது. அந்தத் தகட்டில் ஏற்படும் பக்க விளைவுகளைப் புறக்கணித்துவிட்டு இழுவிசையின் மதிப்பைக் கணக்கிடு. அந்தத் தகட்டின் இறுதியில் எல்லைப் படலக் கனத்தையும் சறுக்குப் பெயர்ச்சியையும்காண். எண்ணெயின் ஒப்பு அடர்த்தி 0·86.

$l = 1{\cdot}5$ மீ

$b = 0{\cdot}1$ மீ

$V = 3$ மீ/வி

$\nu = 0{\cdot}05$ ஸ்டோக்ஸ் $= 5\times10^{-6}$ மீ²/வி

$$R_l = \frac{1{\cdot}5\times3}{5\times10^{-6}} = 9\times10^5$$

சமன்பாடு 8·11 அல்லது படம் 8·7-லிருந்து,

$$C_f = 0\ 00285$$

SI முறையில்

$$F = 2C_f\ A\rho\ \frac{V^2}{2} = \frac{2\times0{\cdot}00285\times1{\cdot}5\times0{\cdot}1\times860\times3^2}{2}$$

$$= 3{\cdot}3 \text{ நி}$$

$$\tau = \frac{0{\cdot}058}{R^{\frac{1}{5}}}\ \rho\ \frac{V^2}{2} = \frac{0{\cdot}058\times860\times3^2}{(9\times10^5)^{\frac{1}{5}}\times2}$$

$$= 14{\cdot}4 \text{ நி/மீ}^2$$

MKS முறையில்

$$F = 2C_fA\ \frac{w}{g}\frac{V^2}{2}$$

$$= 0{\cdot}336 \text{ கிகி}$$

$$\tau = \frac{0{\cdot}058}{(R)^{\frac{1}{5}}}\frac{w}{g}.\ \frac{V^2}{2} = 1{\cdot}47 \text{ கிகி/மீ}^2$$

தகட்டின் இறுதியில் எல்லைப் படலக் கனமானது சமன்பாடு 8·12-லிருந்து,

$$\delta = \frac{0{\cdot}374x}{(R_l)^{\frac{1}{5}}} = \frac{0{\cdot}374\times1{\cdot}5}{(9\times10^5)^{\frac{1}{5}}} = 0{\cdot}0361 \text{ மீ}$$

மாதிரிக் கணக்கு 8·4. 2·5 மீ நீளம், 0·3 மீ சராசரி விட்டமுள்ள ஒரு டார்பிடோ(torpedo) முழுவதும் நீரில் மூழ்கி 15 மீ/வி திசைவேகத்தில் செல்கிறது. நீரின் வெப்பநிலை 20°C-ஆக இருக்கும்போது இழைக் கோடு வடிவமைப்புள்ள டார்பிடோவின் மேல் உராய்வால் ஏற்படும் இழுவிசை என்ன ?

$l=2{\cdot}5$ மீ

$V\times 15$ மீ/வி

$\nu=10^{-6}$ மீ^{2}/வி

$$R=\frac{15\times 2{\cdot}5}{10^{-6}}=3{\cdot}75\times 10^7$$

படம் 8·7-லிருந்து, $C_f=0{\cdot}0024$

டார்பிடோவின் மொத்தப் பரப்பு$=\dfrac{\pi D^2}{4}l=\dfrac{\pi\times 0{\cdot}3^2}{4}\times 2{\cdot}5$

$$=0{\cdot}176 \text{ மீ}^2$$

இழுவிசை $F=C\,A\rho\dfrac{V^2}{2}$

$$=0{\cdot}0024\times 0{\cdot}176\times 1000\times\frac{15^2}{2}=47{\cdot}5 \text{ நி}$$

தேவைப்படும் திறன் $=F\times v=47{\cdot}5\times 1{\cdot}5=713$ வாட்.

மாதிரிக் கணக்கு 8·5. ஒரு மெல்லிய வழவழப்பான தட்டைத் தகடு 1 மீ அகலம், 2 மீ நீளமுடையது. இது நீரில் மூழ்விக்கப்பட்டு 2 மீ/வி திசைவேகத்தில் இழுத்துச் செல்லப்படுகிறது. கீழ்க்கண்ட நிலைகளுக்கு இழுவிசைகளைக் கணக்கிடு. (அ) எல்லைப் படலம் முழுவதும் படலநிலையிலிருத்தல், (ஆ) மாறுபடும்நிலை $R=10^5$-ஆக இருக்கும்போது நிகழுமானால், (இ) எல்லைப் படலம் முழுவதும் கொந்தளிப்புநிலையுடையதாக இருத்தல். $\nu=10^{-6}$ மீ^{2}/வி.

$$R=\frac{Vl}{\nu}=\frac{2\times 2}{10^{-6}}=4\times 10^6$$

(அ) பிளாசியஸ் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி,

$$C_f=\frac{1{\cdot}328}{(4\times 10^6)^{\frac{1}{2}}}=0{\cdot}000664$$

(ஆ) சமன்பாடு 8·16-ஐப் பயன்படுத்தி,

$$C_f=\frac{0{\cdot}074}{(4\times10^6)^{\frac{1}{5}}}-\frac{1700}{4\times10^6}=0{\cdot}00312$$

(இ) சமன்பாடு 8·13-ஐப் பயன்படுத்தி,

$$C_f=\frac{0{\cdot}074}{(4\times10^6)^{\frac{1}{5}}}=0{\cdot}00354$$

மொத்த இழுவிசை $F=2C_f\times l\times b\times\rho\,\frac{V^2}{2}$

$$=\left(2\times1\times2\times1000\times\frac{2^2}{2}\right)C_f$$

$$=6000\ C_f$$

(அ) $F=6000\times0{\cdot}664\times10^{-3}=2{\cdot}664$ நி

(ஆ) $F=6000\times3{\cdot}12\times10^{-3}=18{\cdot}72$ நி

(இ) $F=6000\times3{\cdot}54\times10^{-3}=21{\cdot}24$ நி

MKS முறையில்

$$F=2\times1\times2\times\frac{1000}{9{\cdot}81}\times\frac{2^2}{2}=\frac{6000}{9{\cdot}81}\,C_f$$

(அ) $F=0{\cdot}272$ கிகிஎ

(ஆ) $F=1{\cdot}91$ கிகிஎ

(இ) $F=2{\cdot}16$ கிகிஎ.

8·8. வழுவழுப்பான, சொரசொரப்பான எல்லைகள்

படல உட்படலத்தில் (laminar sublayer) ஏற்படும் உலைவுகள் (disturbances) பாகுநிலைத் தன்மையால் அழிந்து மறைகின்றன. ரெயினால்ஸ் எண்ணில் மதிப்பு அதிகரிக்கும்போது கொந்தளிப்பு அதிகரிப்பதால் படல உட்படலத்தின் கனம் குறைந்து கொண்டே போகிறது.

வழவழுப்பான எல்லைகளில் (boundaries) இந்த படல உட்படலம் எல்லையில் இயற்கையாக உள்ள மேடு பள்ளங்களை தன்னுள் அடக்கிக்கொள்ளும் அளவிற்குக் கனமாக இருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது. இந்த மேடு பள்ளங்களான சொரசொரப்பால் ஏற்படும் உலைவுகள் இந்த உட்படலத்திலேயே முழுவதும் அழிந்து மடிந்து விடுகின்றன. எனவே, சொரசொரப்பால் ஏற்படும்

விளைவுகள் முக்கிய பாய்ச்சலைப் (main flow) பாதிப்பதில்லை. உட்படலத்தின் கனமான δ'-ஐவிடச் சொரசொரப்பின் உயரம் குறைவாக இருக்கவேண்டும். சொரசொரப்பால் எந்தவிதமான உலைவும் முக்கிய பாய்ச்சலைப் பாதிக்காவிட்டால் வழவழப்பான எல்லை (hydraulically smooth boundary) என்கிறோம்.

எந்த எல்லைகளில் அதன் பரப்பிலுள்ள சொரசொரப்பானது படல உட்படலத்தையும் தாண்டி வெளிவந்து முக்கிய பாய்ச்சலில் கொந்தளிப்புத்தன்மை உண்டாக்குவதற்கும் பரப்புவதற்கும் காரணமாக இருக்கிறதோ அப்படிப்பட்ட எல்லைகளை நீரியியற் அடிப்படையில் சொரசொரப்பான எல்லைகள் (hydraulically rough boundaries) என்கிறோம். சொரசொரப்பான எல்லைகளிலுள்ள மேடு பள்ளங்களால் சுழல்கள் ஏற்பட்டு அவைகள் பாய்ச்சல் புலம் முழுவதும் பரவுகின்றன. அதனால் ஆற்றலிழப்பு அதிகரிக்கிறது. இந்த ஆற்றலிழப்பு சொரசொரப்புகளின் நெருக்கம், அமைப்பு, அளவு இவற்றை பொருத்தது.

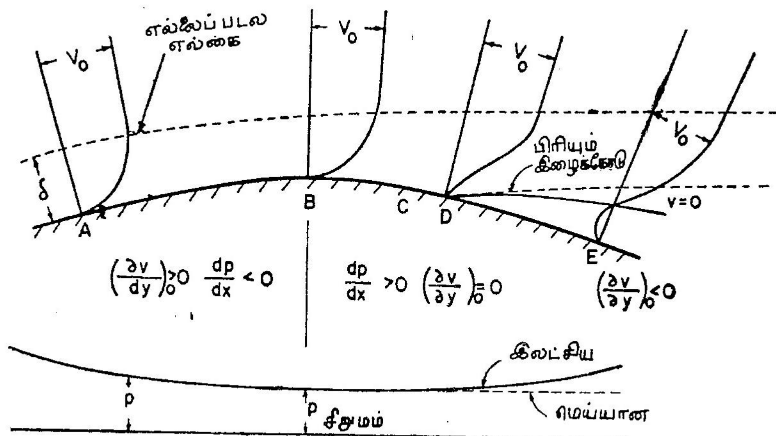
எந்த எல்லைகளில் சொரசொரப்புகள் முக்கிய பாய்ச்சலின் கொந்தளிப்புத் தன்மையை ஏற்படுத்தும் அளவிற்கு அளவிலும், நெருக்கத்திலும் போதுமானபடி இல்லையோ அந்த எல்லைகள் மாறுபடும் நிலையில் (transition) உள்ளது என்கிறோம்.

இதிலிருந்து குறைந்த ரெயினால்ஸ் எண்களில் வழவழப்பான எல்லை என பாகுபடுத்தப்படுவது ரெயினால்ஸ் எண் அதிகரிக்குமானால் சொரசொரப்புடையதாகும் எனத் தெரிகிறது. ரெயினால்ஸ் எண் அதிகரிக்கும்போது δ'-ன் மதிப்பு குறைந்து சொரசொரப்புகள் வெளிப்பட்டு முக்கிய பாய்ச்சலைக் கொந்தளிப்பு தன்மையுள்ளதாக ஆக்குகின்றன.

8·9. அழுத்தச் சரிவுள்ள எல்லைப் படலம் (Boundary Layer with Pressure Gradient)

இதுவரை அழுத்தச் சரிவற்ற எல்லைப் படலங்களைப் பற்றி படித்தோம். இனிப் பாய்ச்சலில் அழுத்தச் சரிவு இருக்குமானால் எல்லைப் படலம் எவ்வாறு பாதிக்கப்படுகிறது என்பது பற்றி படிப்போம். பாய்ச்சற் திசையில் அழுத்தம் குறைவதையும் அதிகரிப்பதையும் விளக்கப் படம் 8·8-ல் உள்ளபடி பெரிய ஆரமுள்ள வளைந்த எல்லையை எடுத்துக் கொள்வோம். AB என்ற பகுதியில் திசைவேகம் அதிகரிக்கிறது; பாய்ச்சல் முடுக்கமடைகிறது. எல்லையருகிலுள்ள கட்டற்ற திசைவேகத்தின் மதிப்பு அதிகரித்து B என்ற வெட்டுமுகத்தில் உச்ச மதிப்பை அடைகிறது. B என்ற

வெட்டுமுகம் வரை அழுத்தமானது பாய்ச்சல் திசையில் குறைகிறது. இதை எதிர் அழுத்தச் சரிவு (negative pressure gradient)



படம் 8·8. பாதகமான அழுத்தச் சரிவில் பிரிதல்

என்கிறோம். எதிர் அழுத்தச் சரிவுள்ள பகுதியில் எல்லைப் படலத்திலுள்ள பாய்மமும் முடுக்கமடைகிறது. எனவே, தட்டைத் தகட்டைப் போலன்றி இங்கு எல்லையருகிலுள்ள பாய்மம் அதிக உந்தத்தை அடைகிறது. ஆகையால் இப்பகுதியில் தட்டை தகட்டைப்போல் எல்லைப் படலக் கனம் அதிகரிப்பதில்லை. இவ்வாறு எதிர் அழுத்தச் சரிவு எல்லைப் படல வளர்ச்சியைக் குறைப்பதால் இதைச் சாதகமான அழுத்தச் சரிவு (favourable pressure gradient) என்கிறோம். அழுத்தமானது B-யில் அதன் சிறும மதிப்பை அடைந்து பின்னர் அதிகரிக்க ஆரம்பிக்கிறது. இந்தப் பகுதியில் எல்லையானது விரிவடைவதால் இங்கு அழுத்த அதிகரிப்பு ஏற்படுகிறது. இப்பகுதியில் BE-யில் ஏற்படும் பாய்ச்சலில் உண்டாகும் அழுத்தச் சரிவிற்குப் பாதகமான அழுத்தச் சரிவு (adverse pressure gradient) எனப் பெயர். இந்தப் பகுதியில் எல்லையருகிலுள்ள பாய்மத்தின் உந்தம் அதிலுள்ள பிசுபிசுப்புத்தன்மையால் மேலும் குறைகிறது. இவ்வாறு எல்லையின் அருகிலுள்ள பாய்மத்தில் அதன் சடத்துவ விசையானது உந்தக் குறைவாலும் நேர் அழுத்தச் சரிவாலும் எதிர்க்கப்படுகிறது. எனவே, அப் பாய்மம் தன் திசைவேகத்தின் மதிப்பைப் படிப்படியாக இழக்க ஆரம்பிக்கிறது. $\frac{\partial v}{\partial y}$-யின் மதிப்பு குறைந்து கொண்டே வருவதால் பாய்மம் எல்லையைத் தழுவிக் கொண்டு செல்ல முடியாமல் D என்ற

புள்ளியில் $\left(\frac{\partial v}{\partial y}\right)$யின் மதிப்பு சுழியாக இருக்குமிடத்தில் பிரிய ஆரம்பிக்கிறது. எல்லை இழைக் கோடு இந்தப் புள்ளியிலிருந்து தனியாகப் பிரிந்து (separates) பாய்ச்சல் புலத்தில் செல்கிறது. இந்த இழைக் கோட்டிற்கும் அமைப்பிற்கும் இடையிலுள்ள பாதையைச் சுழற்பாதை (wake) என்கிறோம். இந்தப் பாதையில் பெரிய, ஒழுங்கற்ற பல சுழல்கள் தோன்றி மறைந்த வண்ணம் இருக்கின்றன. இதில் ஏற்படும் கொந்தளிப்பால் ஏற்படும் ஆற்ற லிழப்பு இறுதியில் வெப்பமாக மாறி மறைகிறது. இந்தச் சுழற் பாதையிலுள்ள அழுத்தம் பிரியும் புள்ளியில் (separation point) உள்ள அழுத்தத்திற்கு ஏறத்தாழ இருக்கும். இப்பாதையில் ஏற்படும் சுழல்களால் பாய்ச்சல் எதிர் திசையிலும் ஏற்படலாம்.

எல்லை இழைக் கோடு எந்தப் புள்ளியில் எல்லையிலிருந்து பிரியும் என திட்டமாகக் கொள்கை அடிப்படையில் சொல்லமுடியாது. பிரியும் புள்ளியின் இடம், பொருளின் அமைப்பையும் பொருளின் மேற்பரப்பின் சொரசொரப்பையும் வரும் பாய்ச்சலிலுள்ள கொந்தளிப்பையும் ரெயினல்ஸ் எண்ணையும் பொருத்தது. குவியும் பகுதியில் பாய்ச்சல் முடுக்கப்படுவதால் எல்லைப் படலத் திலும் ஓட்டம் முடுக்கப்பட்டு பிரிதல் தாமதப்படுத்த அல்லது தடுக்கப்படுகிறது. தட்டைத் தகட்டில் அழுத்தச் சரிவு சுழியாக இருக்கும்போது பிரிதல் நிகழாது. இலட்சிய பாய்ம ஓட்டங் களில் பொருள்களின் அமைப்பு எப்படி இருந்தாலும் பிரிதல் நிகழாது.

பிரிதலானது படல எல்லைப் படலத்திலும் கொந்தளிப்பு எல்லைப் படலத்திலும் ஏற்படக்கூடும். படலநிலை எல்லைப் படலங் களில் எல்லையருகிலுள்ள பாய்மத்தின் திசைவேகம், கொந்தளிப்பு நிலை எல்லைப் படலங்களை ஒப்பிடும்போது குறைவாக இருக்கும். இவ்வாறு படலநிலை எல்லைப் படலத்தில் உந்தம் குறைவாக இருப்பதால் சிறிய பாதகமான அழுத்தச் சரிவு இருந்தபோதிலும் பிரிதல் நிகழ வாய்ப்பு இருக்கிறது. ஆனால் கொந்தளிப்பு நிலை எல்லைப் படலங்களில் உந்தப் பரிமாற்றத்தால் எல்லையருகிலுள்ள பாய்மத்தின் உந்தம் அதிகமாக இருக்கும். எனவே, பிரிதல் சிறிது தாமதித்தே ஏற்படுகிறது. எல்லைப் படலம் எத் தன்மைத்தாயிருந் தாலும் பாதகமாக அழுத்தச் சரிவுகளில் பிரிதல் எங்காவது நிகழ்ந்தே தீரும். பொருளின் அமைப்பைப் பொருத்து பிரிந்த எல்லை இழைக் கோடு (boundary streame line) திரும்பவும் எல்லை யுடன் இணையக்கூடும். அப்போது ஒரு பிரிவுப் பகுதி (separation pocket) ஏற்படுகிறது.

பிரிதல் நிகழ்வதை எளிதில் விளக்க ஒரு வளைந்த எல்லை அமைப்பை எடுத்துக்கொண்டோம். இருந்த போதிலும் நேரான எல்லைகளையுடைய பிரிவு(diffuser)களிலும் பிரிதல் நிகழக்கூடும்.

8·10. அமைப்பு இழுவிசை (Form drag)

எல்லைப் படலம் பிரிவதால் பாய்ச்சல் அமைப்பானது (flow pattern) பாதிக்கப்படுகிறது என்பது தெளிவு. எந்தப் புள்ளியிலிருந்து பிரிதல் நிகழும் என்பதைக் கொள்கை அடிப்படையில் அடைய முடியாதாதலால் பாய்ச்சல் வலையைப் பயன்படுத்தி பாய்ச்சல் புலத்தில் அழுத்தத்தைக் கணக்கிட முடியாது. ஆனல் பிரிதல் ஏற்படுவதால் அழுத்தப் புலம் (pressure field) மிகையாகப் பாதிக்கப்படுகிறது. பிரிதல் ஏற்பட்டுள்ள பகுதியில் அழுத்தமானது ஏறக்குறைய பிரிதலின் ஆரம்பப் புள்ளியிலுள்ள அழுத்தத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். இவ்வாறு ஒரு பொருளின் இரு புறத்திலும் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாட்டால் ஏற்படும் இழுவிசைக்கு அமைப்பு இழுவிசை எனப்பெயர்.

ஒரு பொருளின் புறப்பரப்பிலுள்ள திசைவேகச் சரிவால் ஏற்படும் தொடு கோட்டு சறுக்குப் பெயர்ச்சியால் மேல் உராய்வு (skin friction) இழுவிசை ஏற்படுகிறது என முன்னர் பார்த்தோம். இந்த மேல் உராய்வு இழுவிசை, அமைப்பு இழுவிசை இவற்றின் கூட்டுத் தொகைக்கு மொத்த இழுவிசை (total drag) அல்லது தோற்ற இழுவிசை (profile drag) எனப் பெயர். ஆகவே, பாய்மத்தில் முழுவதும் மூழ்கியுள்ள ஒரு பொருளானது நகரும்போது இந்த இரண்டு இழுவிசைகளை எதிர்த்து செல்ல வேண்டியதிருக்கிறது. இழைக் கோட்டு வடிவமற்ற (unstreamlined) பொருள்களில் அமைப்பு இழுவிசையானது மேல் உராய்வு இழுவிசையை விடப் பன்மடங்கு அதிகமாக இருக்கும். மேலும் சுழல் பாதையில் ஏற்படும் சுழல்களால் முக்கிய பாய்ச்சலின் ஆற்றல் குறைந்து கொந்தளிப்புத் தன்மையால் முடிவில் வெப்பமாக மாறுகிறது. இந்த ஆற்றலிழப்பு நிரந்தரமானது. எனவே, பொருள்களின் அமைப்பை நிர்மாணிப்பதில் அவைகள் இழைக் கோட்டு வடிவமுள்ளதாக (streamlined) இருத்தல் அவசியம்.

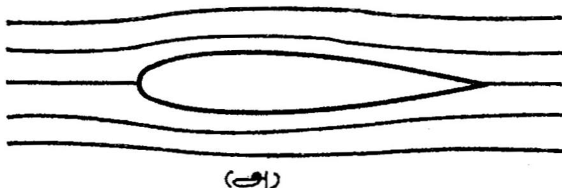
கொள்கை அடிப்படையில் அமைப்பு இழுவிசையைக் கணக்கிட இதுகாறும் வழிகள் இல்லாததால் சோதனைகள் மூலமே இழுவிசையை அடைய வேண்டியதிருக்கிறது. இந்த இழுவிசையானது கீழ்க்கண்ட வகையில் பொதுவாக எழுதப்படுகிறது.

$$C_D = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\rho V_0^2}{2}} \qquad (8{\cdot}17)$$

இதில் C_D என்பது இழுவிசைக் கெழுவையும், F மொத்த இழு விசையையும், A பாய்ச்சலின் திசைக்கு நேர்குத்துத் தளத்தில் பிரதிபலிக்கப்பட்ட பரப்பையும் (projected area) அதாவது எறி பரப்பையும், ρ பாய்ம அடர்த்தியையும், V_0 கட்டற்ற திசை வேகத்தையும் குறிக்கும். C_D-யின் மதிப்பு பொருளின் அமைப் பையும் ரெயினுல்ஸ் எண்ணேயும் பொருத்தது.

8·11. மூழ்கிய பொருள்களைச் சுற்றி பாய்ச்சல்

ஒரு பொருளில் ஏற்படும் அமைப்பு இழுவிசையின் மதிப்பு, பிரிந்துள்ள பகுதியின் அளவையும் எந்தப் புள்ளி அல்லது புள்ளி களிலிருந்து அப்பிரிவு ஏற்படுகிறது என்பதையும் பொருத்தது. படம் 8·9-ல் காட்டப்பட்டுள்ள ஒரு இறக்கை அமைப்பில் (air foil)



(அ)



(ஆ)

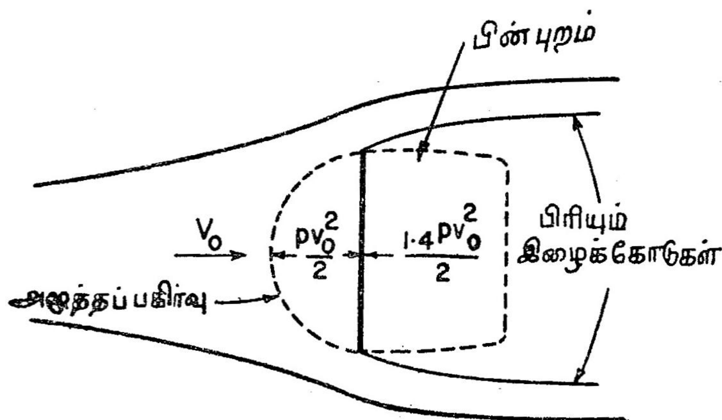
படம் 8·9. இறக்கை அமைப்பைச் சுற்றி பாய்ச்சல்

இழைக் கோடானது அதன் முனையில் இரண்டாகப் பிரிந்து, அந்த இறக்கை அமைப்பின் மேற்பரப்பை பின்பற்றி செல்கிறது. இவ் வாறு பிரிந்த இழைக் கோடு இறக்கை அமைப்பின் இறுதியில் ஒன்று சேர்ந்து ஒரே இழைக் கோடாகச் செல்லுமானல் அந்த இறக்கை அமைப்பு முழுவதும் இழைக் கோட்டு உருவ அமைப்பு டையதெனக் கருதப்படுகிறது. ஆனல் சில இறக்கை அமைப்பு களில் திசைவேகம் அதிகரிக்கும்போது அதன் பின்பாகத்தில் பிரிதல்

நிகழுகிறது. இழைக் கோட்டு உருவ அமைப்புள்ள பொருள்களில் இவ்வாறு ஏற்படும் பிரிதல் பாகம் மிகக் குறைவாக இருக்கும்; பரப்பு இழுவிசையைவிட அமைப்பு இழுவிசை இவ்வமைப்புகளில் குறைவாக இருக்கும். இப்படிப்பட்ட பொருள்களில் அதன் மேற் பாகத்தில் ஏற்படும் அழுத்தப் பகிர்வை கொள்கை அடிப்படையில் கணக்கிடலாம்.

8·12. தட்டைத் தகடு

ஒரு தட்டைத் தகட்டை பாய்மப் பாய்ச்சல் திசைக்கு நேர் எதிராக இருக்கும்படி வைப்பதால் ஏற்படும் அமைப்பு இழைக் கோட்டு வடிவமுள்ள பொருளுக்கு எதிர்மாறானதாகும். இது படம் 8·10-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. அதன் ஓரங்களிலுள்ள மிகச் சிறிய இடத்தைத் தவிர இந்த அமைப்பில் உராய்வால் எவ்வித



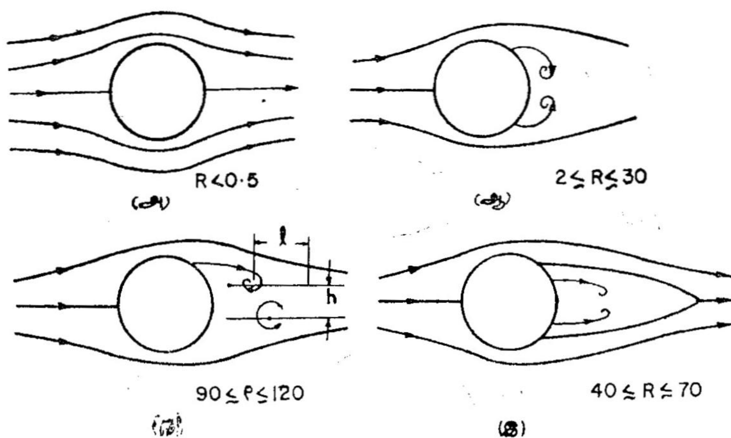
படம் 8·10. தட்டைத் தகட்டைச் சுற்றி பாய்ச்சல்

மான இழுவிசையும் ஏற்படுவதில்லை. மொத்த இழுவிசையின் முழுபாகமும் கிட்டத்தட்ட அமைப்பு இழுவிசையாலே ஏற்படு கிறது. இத் தகட்டின் ஓரங்களில் இழைக் கோடு வளைந்து தகட்டை அண்டிச் செல்ல வரம்பிலா அழுத்த வேறுபாடு தேவைப் படுகிறது. ஆனால் இது நடைமுறையில் சாத்தியமல்ல. எனவே, இழைக் கோடு அத் தகட்டின் ஓரங்களிலிருந்து பிரிந்து தகட்டின் பின்புறம் சுழற்பாதையை உண்டாக்குகிறது. *R*-ன் மதிப்பு 100-க்குக் குறைவாக இருக்கும்போது தகட்டின் ஓரங்களில் பிரிதல் ஏற்படுமெனத் திட்டமாகச் சொல்லமுடியாது. ஆனால் *R*-ன் மதிப்பு 1000க்கு அதிகமாக இருக்கும்போது இழைக் கோடுகள் அதன் விளிம்பிலிருந்து பிரிந்து செல்கின்றன. இப்போது இழு

விசைக்கெழு C_D-யின் மதிப்பு 1·9-ஆக இருக்கும். ஒரு குறிப்பிட்ட நீளம் l, அகலம் b உள்ள நீண்ட சதுரத் தகடுகளில் $\frac{b}{l}$ -ன் மதிப்பு 0-விலிருந்து 1 வரை மாறுபடும்போது C_D-யின் மதிப்பு முறையே 1·9 முதல் 1·21 வரை மாறுபடும். l-ன் மதிப்பு குறையக் குறைய C_D-யின் மதிப்பும் குறைந்து கொண்டே போகும்.

8·13. உருளை (Cylinder)

இருபரிமாண, வழவழப்பான உருளைப் பாய்ச்சலுக்கு நேர்குத்தாக படம் 8·11-ல் உள்ளபடி இருக்கும்போது ஏற்படும் விளைவுகளைப் பற்றி இனி படிப்போம். R-ன் மதிப்பு 0·5-க்கும் குறைவாக



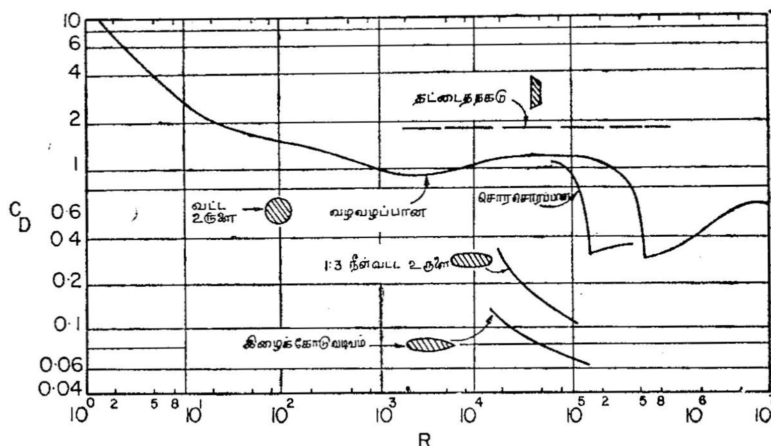
படம் 8·11. உருளைக்குப் பின் சுழல்களின் தோற்றம்

இருக்குமானால் பாய்மத்திலுள்ள சடத்துவ விசையானது பாகுநிலை விசையை ஒப்பிடும்போது மிகக் குறைவாக இருக்கும். எனவே, படம் 8·11(அ)-ல் உள்ளபடி இழைக் கோடுகள் அமைந்திருக்கும். R-ன் மதிப்பு 2 முதல் 30 வரை இருக்கும்போது படல நிலை எல்லைப் படலம் பிரிந்து இரண்டு நிலையான சுழல்கள் உருளையின் பின்புறம் ஏற்படுகின்றன. இந்தச் சுழல்கள் எதிர்திசைகளில் சுழல்கின்றன. இந்தச் சுழல்களின் நீளம் R-ன் மதிப்பு 70-ஆக இருக்கும் வரை அதிகரித்துக்கொண்டே போகிறது. பின்னர் R-ன் மதிப்பு 90-க்கும் அதிகமாக இருக்கும்போது பாய்ச்சலிலுள்ள கொந்தளிப்பைப் பொறுத்து இந்தச் சுழல்கள் ஒன்றன் பின் ஒன்றாக உருளையிலிருந்து பிரிந்து செல்கின்றன. நான்காவது படத்திலுள்ளபடி இவ்வாறு பிரிந்து செல்லும் சுழற்தொடருக்குக் கார்மன்

சுழற்தொடர் (Karman vortex trail) எனப் பெயர். இலட்சிய பாய்மத்தில் $\frac{h}{l}=0{\cdot}281$-ஆக இருக்கும்போது இச்சுழல்கள் அழியாமல் இருக்குமென கார்மன் கொள்கை அடிப்படையில் கண்டறிந்தார். இந்தச் சுழல்களில் ஏற்படும் சர்க்குலேஷனுல் (circulation) உருளையில் பக்க விசை (lateral force) ஏற்படுகிறது. இதனுல் உருளையில் அதிர்வு (vibration) ஏற்பட்டு சுழல்கள் எந்த வீதத்தில் உருளையிலிருந்து பிரிந்து செல்கின்றனவோ அதே வீதத்தில் அதிர்வும் மாறி மாறி உண்டாகிறது. இந்த அதிர்வெண் (frequency) அந்தப் பொருளின் இயற்கை அதிர்வெண்ணுக்குச் (natural frequency) சமமாளுல் அதிர்வு அதிகரிக்க ஆரம்பிக்கும். இதனுலேயே தந்திக் கம்பிகள் காற்றில் 'பாடுவதை' நாம் கேட்கிறோம். சுழல்கள் உருளையிலிருந்து பிரியும் அதிர்வெண் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் கொடுக்கப்படுகிறது.

$$\frac{fd}{V_0}=0{\cdot}198\left(1-\frac{19{\cdot}7}{R}\right) \qquad (8{\cdot}18)$$

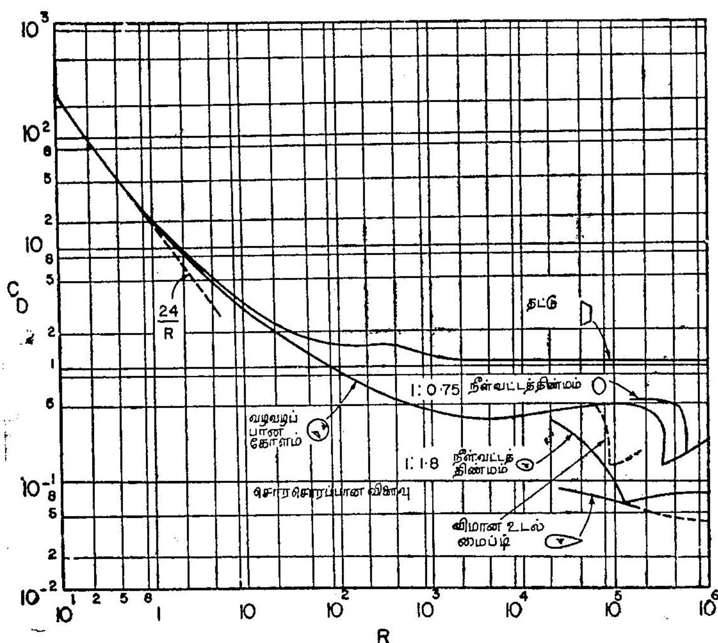
இச்சமன்பாடு R-ன் மதிப்பு 200-லிருந்து 5000 வரை இருக்கும்போது பொருந்தும். R-ன் மதிப்பு 5000-க்கு அதிகமாகும்போது படலநிலை மாறுபட்டு கொந்தளிப்பு நிலை ஏற்பட ஆரம்பிக்கிறது. எனவே, சுழற்பாதையில் சுழல்கள் அழிய ஆரம்பிக்கின்றன. கொந்தளிப்பு நிலையில் சுழல்கள் தனித்தனியாக ஏற்படுவதில்லை.



படம் 8·12. இருபரிமாணப் பொருள்களுக்கு இழுவிசைக் கெழு

படம் 8·12-ல் இருபரிமாண வழவழப்பான உருளையில் ஏற்படும் இழுவிசைக் கெழு C_D-க்கும், ரெயினுல்ஸ் எண் R-க்குமுள்ள

தொடர்பு வரைபடமாக விளக்கப்பட்டுள்ளது. $R<1$-ஆக இருக்கும்போது இழுவிசையானது பாகுநிலையால் மட்டும் ஏற்படுகிறது. சடத்துவ விளைவுகளை முழுவதும் புறக்கணித்துவிடலாம். இந்தப் பாய்ச்சலுக்கு ஊரும் இயக்கம்(creeping motion) எனப்பெயர். இந்த நிலையில் மேல் உராய்வால் $\frac{1}{3}$ பங்கு இழுவிசையும், பாய்மத் துகள்கள் உருமாறுவதால் $\frac{2}{3}$ பங்கு இழுவிசையும் ஏற்படுகிறது. R-ன் மதிப்பு 200-ஆக இருக்கும்போது இழுவிசையில் $\frac{2}{3}$ பங்கு அமைப்பு இழுவிசையால் ஏற்படுகிறது. R-ன் மதிப்பு 2000-ஆக இருக்கும்போது C_D-யின் மதிப்பு அதன் சிறுமமான 0·95-ஐ அடைகிறது. பின்னர் கொந்தளிப்பு அதிகமாவதால் R-ன் மதிப்பு உயரும்போது $C_D = 1{\cdot}2$-ஆக அதிகரிக்கிறது. கொந்தளிப்பு நிலையில் உருளைக்கு அருகிலுள்ள பாய்மமும் பரிமாற்றத்தால் அதிக உந்தம் பெற்று உருளையை ஒட்டியே நகருகிறது. எனவே, படம் 8·14-(இ)-ல் உள்ள படி பிரிதல் உருளைக்குப் பின்புறம் ஏற்படுகிறது. இதனால் R-ன் மதிப்பு 3×10^6-ஆக இருக்கும்போது C_D-யின் மதிப்பு 0·3-ஆக திடீரெனக் குறைகிறது. பின்னர் R-ன் மதிப்பு அதிகரிக்கும்போது C_D படிப்படியாக 0·7 என்ற மதிப்பிற்கு உயருகிறது. R-ன் மதிப்பு மிக அதிகமாக இருக்கும்போது உராய்வால் ஏற்படும் இழுவிசை



படம் 8·13. முப்பரிமாணப் பொருள்களுக்கு இழுவிசைக் கெழு

மொத்த இழுவிசையில் 3 சதவிகிதத்திற்கும் குறைவாகவே இருக்கும்.

உருளையை அடுத்துள்ள எல்லைப் படலம் படலநிலையிலிருந்து கொந்தளிப்பு நிலையை அடைவது உருளை மேற்பரப்பின் சொர சொரப்பையும், முக்கிய பாய்ச்சலிலுள்ள கொந்தளிப்பையும் பொருத்தது.

படம் 8·12-ல் தட்டைத் தகடு, சில இழைக் கோடு வடிவமுள்ள பொருள்கள் முதலியவற்றிற்கு C_D-யின் மதிப்புகள் கொடுக்கப் பட்டுள்ளன. பாய்ச்சல் கொந்தளிப்பு நிலையிலிருக்கும்போது C_D-யானது R-ஐச் சார்ந்திருக்கவில்லை. C_D-யின் மதிப்பு இழைக் கோடு வடிவமுள்ள பொருள்களில் மிகக் குறைவாக இருக்கிறது. பிரிதல், பொருளின் இறுதியில் ஏற்படுமாதலால் அமைப்பு இழு விசை குறைவாக இருக்கும். ஆனால் அதே சமயத்தில் இழைக் கோடு வடிவத்திற்காகப் பொருள்களை வெகு நீளமாக நிர்மாணித்து விட்டால் அதனால் உராய்வு இழுவிசை அதிகரிக்கும். எனவே, பொருள்களின் அமைப்பை நிர்மாணிப்பதில் மொத்த இழுவிசை யானது குறைவாக இருக்கும்படி பார்த்துக் கொள்ளவேண்டும்.

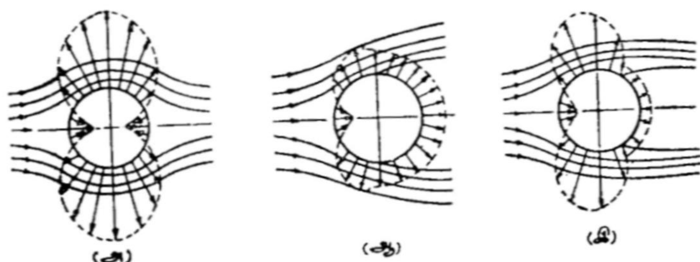
8·14. கோளம் (Sphere)

வளிமண்டலத்தில் தூசி படிதல், வண்டல் மண் (sediment) படிதல் போன்றவற்றைப் பற்றிய பகுப்பாய்வுகளுக்கு கோளத்தைச் சுற்றி பாய்ச்சல் நிகழ்வதால் ஏற்படும் அழுத்தப் பகிர்வு பயன்படுமாதலால் அது பற்றி இங்கு படிப்போம். கோளத்தைச் சுற்றி பாய்மம் மிகக் குறைந்த மதிப்புள்ள R-ல் பாயும்போது இருபரிமாண உருளையில் ஏற்பட்டதுபோல் மாறி மாறி சுழல்கள் ஏற்பட்டுப் பிரிந்து செல்வதில்லை. $R=10$-ஆக இருக் கும்போது சுழல் வளையம் (vortex ring) ஏற்படுகிறது. ஆனால் R-ன் மதிப்பு 200-ஆக அதிகரிக்கும்போது அந்த வளையம் மறைந்து விடுகிறது. இந்த வளையத்தால் கோளத்தில் அதிர்வு உண்டாவ தில்லை.

ஊரும் இயக்கம் என்று அழைக்கப்படும் பாய்ச்சல் நிகழுங்கால் ($R<0·1$) கோளத்திலுண்டாகும் இழுவிசையைக் கொள்கை அடிப் படையில் ஸ்டோக்ஸ் என்ற விஞ்ஞானி கண்டறிந்தார். பாகுநிலை விளைவுகளை மட்டும் எடுத்துக்கொண்டு உருவ மாற்றத்தால் ஏற் படும் இழுவிசை $3\pi D\mu V_o$ எனக் கணக்கிட்டு,

$$C_D=\frac{3\pi D\mu V_0}{\frac{1}{2}\rho V_o{}^2\times\frac{\pi D^2}{4}}=\frac{24}{R} \qquad (8·19)$$

என அடைந்தார். இந்தக் கோளத்தின் முன்புறத்திலுள்ள தேக்கப் புள்ளியில் அழுத்தமானது இயக்கவிசை அழுத்தத்தை விட (dynamic pressure) $+\frac{6}{R}$ மடங்கு அதிகமாக இருக்கும். படம் 8·14-லிருந்து R-ன் மதிப்பு 0·1-ஐவிட அதிகமாக இருக்கும்போது சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் புள்ளி விபரங்கள்,



படம் 8·14. உருளையில் ஏற்படும் அழுத்தமும் திசைவேகப் பகிர்வும்

கொள்கை அடிப்படையில் அடைந்த வரைபடத்திலிருந்து மாறுபடுவது தெரியும். கார்ல் ஒஸீன்(Carl Oseen) என்பவர் சடத்துவ விளைவுகளையும் எடுத்துக் கொண்டு,

$$C_D=\frac{24}{R}\left(1+\frac{2}{15}R\right) \tag{8·20}$$

எனக் கண்டறிந்தார்.

சமன்பாடு 8-20 ஆனது R-ன் மதிப்பு 1-ஆக இருக்கும்வரை பொருந்தும். R-ன் மதிப்பு அதிகரிக்க அதிகரிக்க பின்புறமுள்ள தேக்கப் புள்ளியிலிருந்து பிரிதல் ஆரம்பித்து படலநிலை எல்லைப் படலத்தில் முன்புறத் தேக்கப்புள்ளிக்கு 80° கோண அளவிற்கு வருகிறது. இப்போது அமைப்பு இழுவிசை, உராய்வு இழுவிசையைவிட மிக அதிகம். படம் 8·14-ல் உள்ளபடி, படலநிலை எல்லைப் படலம் நீடிக்கும்வரை C_D-ன் மதிப்பில் குறிப்பிடத்தக்க அளவு மாற்றம் ஏற்படுவதில்லை. $R=2\times10^5$ என்ற மதிப்பை அணுகும்போது C_D-யின் மதிப்பு 0·4 லிருந்து 0·5-க்கு அதிகரிக்கிறது. பின்னர் எல்லைப் படலம் கொந்தளிப்பு நிலையை அடைகிறது. இதனால் சுழற்பாதையின் பரப்பு குறைந்து C_D-யின் மதிப்பும் திடீரெனக் குறைகிறது. R-ன் மதிப்பு எந்த அளவில் இருக்கும்போது இந்தத் திடீர் மாற்றம் ஏற்படும் என்பது பரப்புச் சொரசொரப்பையும் முக்கிய பாய்ச்சலிலுள்ள கொந்தளிப்பையும் பொருத்தது.

அட்டவணை 8·2

வடிவம்	$\frac{D}{d}$	R	C_D
வட்ட உருளை (பாய்ச்சலுக்கு நேர் குத்தாக)	1	10^5	0·63
	5		0·74
	20		0·90
	∞		1·20
	5	$>5\times10^5$	0·35
	∞		0·33
நீள்வட்ட உருளை 2:1	∞	4×10^4	0·60
	∞	10^5	0·46
4:1	∞	$2{\cdot}5\times10^4-10^5$	0·32
8:1	∞	$2{\cdot}5\times10^4$	0·29
	∞	2×10^5	0·20
சதுர உருளை (பாய்ச்சலுக்கு நேர் குத்தாக) □	∞	$3{\cdot}5\times10^4$	2·00
◇	∞	10^4-10^5	1·60
முக்கோண உருளை (பாய்ச்சலுக்கு நேர் குத்தாக)			
120° → ▷	∞	10^4	2·00
120° ◁	∞	10^4	1·72
60° ▷	∞	10^4	2·20
60° ◁	∞	10^4	1·39
30° ▷	∞	10^5	1·80
30° ◁	∞	10^5	1·00
அரைக்கோளம் (பாய்ச்சலுக்கு நேர் குத்தாக)			
→)	∞	$>10^3$	1·33
→ (	∞		0·34
குழாய் வடிவான உருளை			
→)	∞	4×10^4	2·30
→ (	∞		1·12
தட்டை நீண்ட சதுரத் தகடு	1	$>10^3$	1·10
	5		1·20
	20		1·50
	∞		1·90

எல்லைப் படலம் படலநிலையிலிருந்து கொந்தளிப்பு நிலைக்கு மாறுவதால் இழைக்கோடு வடிவமைப்புள்ள பொருள்களில் C_D-யின் மதிப்பில் திடீர் மாற்றம் ஏற்படுவதில்லை. இழைக் கோடு வடிவமைப்புள்ள பொருள்களில் C_D-யின் மதிப்பு மிகக் குறைவாகவே இருக்கிறது. அட்டவணை 8·2-ல் சில முக்கிய வடிவமைப்புகளுக்கு C_D-ன் மதிப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

மாதிரிக் கணக்கு 8·6 (SI). வான்குடையானது (parachute) ஒரு குழிந்த அரைக்கோள வடிவமுடையது எனக் கொண்டு, 100 கிகி பொருண்மையை 6 மீ/வி வேகத்தில் கீழிறக்க என்ன விட்டம் தேவை எனக் கணக்கிடு. காற்றின் அடர்த்தி 1·22 கிகி/மீ³ $\nu = 1{\cdot}5 \times 10^{-5}$ மீ²/வி.

R-ன் மதிப்பு 10^5-க்கு அதிகமாக இருக்குமாதலால் C_D-யின் மதிப்பை 1·33 என எடுத்துக் கொள்ளலாம்.

$$C_D \rho \; \frac{V^2}{2} \times \frac{\pi D^2}{4} = F$$

$$1{\cdot}33 \times 1{\cdot}22 \times \frac{6^2}{2} \times \pi \times \frac{D^2}{4} = 100 \times 9{\cdot}81$$

$$\therefore D = 6{\cdot}55 \text{ மீ}$$

MKS முறையில்

$$C_D \; \frac{w}{g} \frac{V^2}{2} \frac{\pi D^2}{4} = F$$

$$1{\cdot}33 \times \frac{1{\cdot}22}{9{\cdot}81} \times \frac{6^2}{2} \times \frac{\pi \times D^2}{4} = 100$$

$$\therefore D = 6{\cdot}55 \text{ மீ}$$

மாதிரிக் கணக்கு 8·7. 3 மிமீ விட்டமுள்ள தந்திக் கம்பியின் குறுக்கு 72 கிமீ/மணி வேகத்தில் காற்று வீசினால் அந்தக் கம்பியில் அதிர்வெண் என்ன? $\nu = 1{\cdot}5 \times 10^{-5}$ மீ²/வி.

$$V_\circ = \frac{72 \times 1000}{60 \times 60} = 20 \text{ மீ/வி}$$

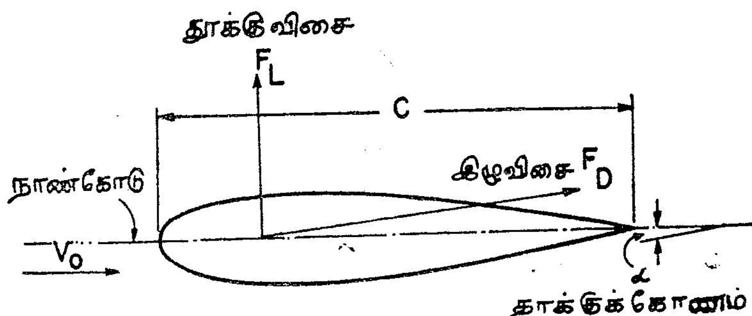
$$R = \frac{20 \times 3 \times 10^{-3}}{1{\cdot}5 \times 10^{-5}} = 4000$$

சமன்பாடு 8·18-ஐப் பயன்படுத்தினால்,

$$f = \frac{0{\cdot}198 \times 20}{3 \times 10^{-3}} \left(1 - \frac{18{\cdot}7}{4000}\right) = 1310 \text{ சைக்கிள்/வி.}$$

8·15. இறக்கை அமைப்பு (Air Foil)

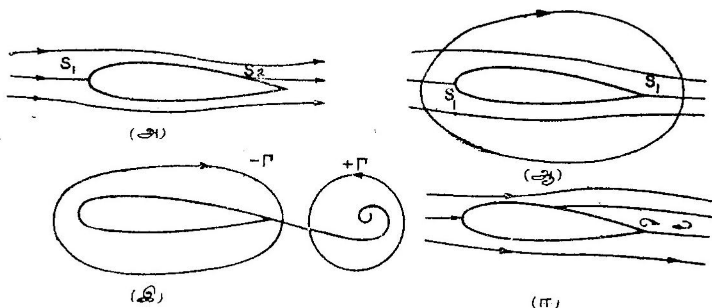
இழைக் கோடு வடிவமைப்பிற்கு நல்லதொரு எடுத்துக் காட்டு சுழி தாக்குக் கோணத்திலுள்ள(angle of attack) இறக்கை அமைப்பாகும். இந்த அமைப்பில் இழுவிசையானது மேல் உராய்வால் (skin friction) மட்டுமே ஏற்படுத்துகிறது. இந்த அமைப்பில் இழு விசை அதிகமாகாமல் தேவையான தூக்கு விசை (lift force) உண்டாக வேண்டியதிருப்பதால் இவ்வமைப்பு வானவூர்திகளில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இருபரிமாண இறக்கை அமைப்பின் குணங்களையும், முப்பரிமாணத்தால் ஏற்படும் விளைவுகளையும் இப் பகுதியில் படிப்போம்.



படம் 8·15. இறக்கை அமைப்பு—விளக்கப் படம்

மேல் வளைவற்ற (camberless) நாண் நீளம் (chord length) C உள்ள ஒரு இருபரிமாண இறக்கை அமைப்பைப் பாய்ச்சல் திசைக்கு a தாக்குக் கோணத்தில் சரிந்து படம் 8·15-ல் உள்ளபடி இருப்பதாக எடுத்துக்கொள்வோம்.. இந்த இறக்கை அமைப்பைச் சுற்றி பாய்மம் சுழி திசைவேகத்திலிருந்து அதிகரிக்க ஆரம்பிக்குமானல் திசைவேகம் சுழியாக இருக்கும்போது சர்க்குலேஷனும் சுழியாக இருக்கும். இந்த நிலையில் ஆரம்பத்தில் அழுத்த பாய்ச்சல் (potential flow) நிகழும் ; S_1, S_2 என்ற தேக்கப்புள்ளியில் படம் 8·16 (அ)-ல் உள்ளபடி அமைந்திருக்கும். மெய்ப் பாய்மப் பாய்ச்சலில் தேக்கப்புள்ளி S_2 படம் 8·16 (அ)-ல் உள்ளபடி இருக்க, கூர்மையான பின்புற விளிம்பில் அழுத்த வேறுபாடு வரம்பிலாததாக இருக்கவேண்டும். ஆனல் இது நடைமுறையில் சாத்தியமல்ல. எனவே, அழுத்தப் பாய்ச்சலில் S_2 என்ற இடத்திலுள்ள பின்புறத் தேக்கப் புள்ளி, உண்மையில் அந்த இடத்திலிருந்து நகர்ந்து படம் 8·16 (ஆ)-ல் உள்ளபடி இடம் பெயர்கிறது. இதனல் இறக்கை அமைப்பில் மேற்பாகத்தில் திசைவேகம் அதிகரிக்கிறது. திசைவேகம்படிப்படியாக அதிகரித்து நிலையான V_0 என்ற திசைவேகத்தை

அடையும்போது Γ வலிமையுள்ள ஒரு தொடக்கச் சுழல் (starting vortex) ஏற்படுகிறது. இந்தச் சுழலின் வலிமை தாக்குக்கோணம் α-வையும், திசைவேகம் V_o-வையும் பொருத்தது. இவ்வாறு



படம் 8·16. இறக்கை அமைப்பைச் சுற்றி ஏற்படும் பாய்ச்சலின் வளர்ச்சி

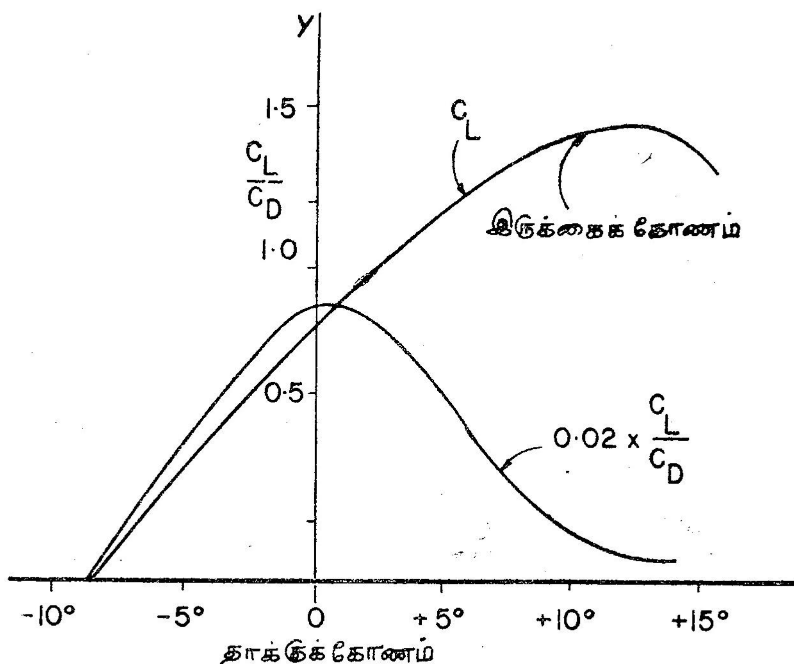
உண்டாகும் தொடக்கச் சுழல், இறக்கை அமைப்பைவிட்டுத் தனியாகப் பிரிந்து விடுகிறது. அவ்வாறு பிரியும்போது இறக்கை அமைப்பைச் சுற்றி கெல்வினின் கொள்கைக்கொப்ப —Γ வலிமையுள்ள சர்க்குலேஷனை விட்டுச் செல்கிறது. இந்த சர்க்குலேஷனானது இறக்கை அமைப்பில் அத்தியாயம் 5-ல் விளக்கப்பட்டபடி தூக்கு விசையை உண்டாக்குகிறது. தாக்குக் கோணத்தை அதிகரித்தால் எல்லைப் படலம் இறக்கை அமைப்பின் மேற்பாகத்திலிருந்து பிரிந்து செல்கிறது. தாக்குக் கோணம் சிறியதாக இருக்கும்போது இந்தப் பிரிதல் இறக்கை அமைப்பின் இறுதியில் ஏற்படுவதால் ஏறத்தாழ இலட்சிய பாய்மப் பாய்ச்சல் நிகழ்வதாக எடுத்துக்கொண்டு இந்த அமைப்பை கொள்கை அடிப்படையில் ஆராயலாம். தூக்கு, இழுவிசைக் கெழுக்கள் பின்வருமாறு வரையறுக்கப்படுகின்றன.

$$C_L = \frac{F_L}{lC\frac{1}{2}\rho V_o^2} \qquad (8\cdot21)$$

$$C_D = \frac{F_D}{lC\frac{1}{2}\rho V_o^2}$$

இதில் l என்பது இறக்கை அமைப்பின் நீளத்தையும், C நாணின் நீளத்தையும் குறிக்கும் C_L-க்கும் C_D-க்குமுள்ள தொடர்பு படம் 8·17-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதிலிருந்து தாக்குக் கோணம் அதிகரிக்கும்போது C_L-ன் மதிப்பு அதிகரிக்காமல் C_D-யின் மதிப்பும் அதிகரிக்கும் என்பது தெரிகிறது. தாக்குக் கோணம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க பிரியும் புள்ளி முன்நோக்கி நகர்ந்து வந்து இறக்கை அமைப்பின் முனையை அடையும். இதன் பிறகு தூக்கு விசை

அதிகரிப்பதில்லை. இந்தத் தாக்குக் கோணத்திற்கு இருக்கைக் கோணம் (angle of stall) எனப் பெயர். இருக்கை நிலைக்குப் (stalled condition) பின் அழுத்தப் பாய்ச்சல் கொள்கைகளைப் பயன்படுத்தி அழுத்தப் பகிர்வை கணக்கிடமுடியாது. பிரியும்

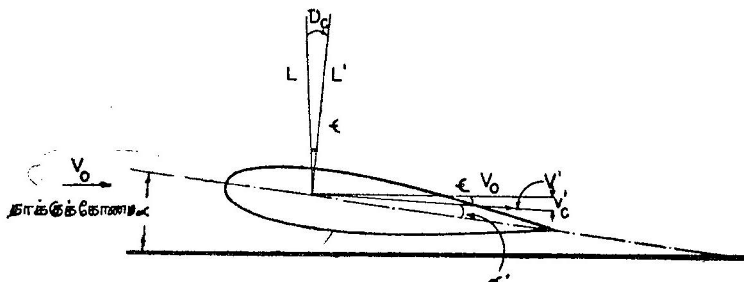


படம் 8·17. C_L-க்கும் C_D-க்குமுள்ள தொடர்பு

புள்ளியின் இடம், தூக்கு விசை, இழுவிசை முதலியவற்றை சோதனைகள் மூலமே கண்டறிய வேண்டியதிருக்கிறது. படம் 8·17-ல் காட்டப்பட்டுள்ள இறக்கை அமைப்பின் சிறப்பியல்புகள் கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகங்களுக்கு (subsonic velocities) பொருந்தும். தூக்கு விசைக்கும், இழுவிசைக்குமுள்ள விகிதம் தாக்குக் கோணம் 4° ஆக இருக்கும்போது மிகச் சிறந்த மதிப்பை உடையதாக இருக்கிறது. தூக்கு விசையானது தாக்குக் கோணம் 15° ஆகும் வரை கூடிக்கொண்டே போகிறது. பின்னர் தாக்குக் கோணம் அதிகரித்தால் தூக்கு விசை குறைய ஆரம்பிக்கிறது. இதற்கு இருக்கை நிலையே காரணம்.

இதுவரை இருபரிமாண இறக்கை அமைப்புகளின் சிறப்பியல்பு களைப்பற்றி படித்தோம். இருபரிமாண அமைப்பில் l-ன் நீளம்

C-யைவிட மிக அதிகமாக இருக்கும். அதாவது வடிவ விகிதம் (aspect ratio) $\frac{l}{C}$ வரம்பிலா மதிப்புடையது. இயற்கை அமைப்பின் அடிப்பாகத்தில் மேற்பாகத்தைவிட அழுத்தம் அதிகமாக இருப்பதால் தூக்கு விசை உண்டாகிறது. வடிவ விகிதம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு இருக்கும்போது இறக்கை அமைப்பின் அடிப் பாகத்திலுள்ள பாய்மம் மேற்பாகத்திற்குப் பக்கவாட்டின்



படம் 8·18. இறக்கை அமைப்பில் தூண்டப்பட்ட இழுவிசை

வழியாகச் செல்கிறது. இதனுல் இரண்டாம்தரப் பாய்ச்சல் (secondary flow) ஏற்பட்டு அந்த இறக்கை அமைப்பைச் சுற்றிய சர்க்குலேஷன் அதிகப்படுகிறது. இந்த விளிம்புச் சுழல்கள் (tip vortices) கீழ்நோக்கிப் பாயும் திசைவேகம் v_1-ஐ ஏற்படுத்து கின்றன. இதனுல் தாக்குக் கோணத்தின் அளவு படம் 8·18-ல் உள்ளபடி ε அளவு குறைகிறது.

$\frac{l}{C}=\infty$ மதிப்புள்ள இறக்கை அமைப்பு α' தாக்குக் கோணத்தில் V' திசைவேகமுள்ள பாய்ச்சலில் இருக்குமாஞல் அதன்மேல் $\rho V'\Gamma l$ என்ற தூக்கு விசை தொழிற்படும். இந்தத் தூக்கு விசையை செங்குத்துத் திசையிலும் கிடைத் திசையிலும் பகுக்கலாம். செங் குத்துத் திசையிலுள்ள கூறு பயனுள்ள தூக்கு விசையாகும். கிடைத் திசையிலுள்ள கூறுல் இழுவிசை ஏற்படுகிறது. எனவே, ஒரு வரம்புள்ள இறக்கை அமைப்பில் (finite air foli) இழுவிசை யானது அதுபோன்ற வரம்பிலா இறக்கை அமைப்பைவிட அதிகமாகவே இருக்கும். விளிம்புச் சுழலிகளால் ஏற்படும் ஆற்ற லிழப்பே இதற்குக் காரணமாகும். இந்தத் தூண்டப்பட்ட இழு விசையானது (induced drag force) கீழ்க்கண்ட மதிப்புள்ளது என நிரூபிக்கலாம்.

$$C_{Di}=\frac{C_L{}^2}{\frac{\pi l}{C}} \qquad (8\cdot22)$$

மாதிரிக் கணக்கு 8·8. 1 மீ பரப்புள்ள ஒரு தகடு பாய்மத்தின் வழியாகச் சரிந்த நிலையில் 10 மீ/வி திசைவேகத்தில் இழுக்கப் படுகிறது. $C_D = 0{\cdot}2$, $C_L = 0{\cdot}92$. பாய்மமானது (அ) 30°C வெப்ப நிலையிலுள்ள காற்று, (ஆ) 20°C வெப்பநிலையிலுள்ள நீராக இருக்குமானால் இழுவிசைகளையும் தேவையான திறன்களையும் கணக்கிடுக.

காற்றில்

$\rho = 1{\cdot}2$ கிகி/மீ^{3}

$V = 10$ மீ/வி

இழுவிசை $F = C_D A \rho \frac{V^2}{2} = 0{\cdot}2 \times 1 \times 1{\cdot}2 = \frac{10^2}{2} = 12$ நி

திறன் $P = F \times v = 12 \times 10 = 120$ வா

நீரில்

$\rho = 1000$ கிகி/மீ^{3}

$V = 10$ மீ/வி

இழுவிசை $F = 0{\cdot}2 \times 1 \times 1000 \times \frac{10^2}{2} = 10{,}000$ நி

திறன் $P = F \times v = 10000 \times 10 = 10^5$ வா

$= 100$ கிவா.

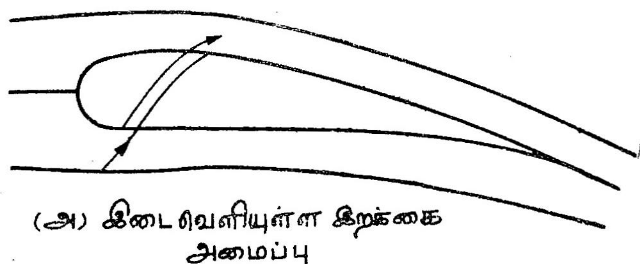
8·16. எல்லைப் படலக் கட்டுப்பாடு (Boundary Layer Control)

ஒரு பொருளைச் சுற்றி பாய்மம் பாயும்போது ஏற்படும் இழு விசைக் கெழுவின் மதிப்பு எல்லைப் படலத்தின் தன்மையையும் பிரியும் புள்ளி (separation point) பொருளில் எந்த இடத்திலிருக் கிறது என்பதையும் பொருத்தது. எங்கும் படலநிலை எல்லைப் படலமும், பிரிதல் நிகழாமலும் இருந்தால் மொத்த இழுவிசை மிகக் குறைவாக இருக்கும். எனவே, நம்முடைய முயற்சியானது ஒரு பொருளின் முழுப் பாகத்திலும் படலநிலை எல்லைப் படலம் இருக்கும்படி செய்வதிலும் பிரிதலைத் தவிர்த்தல் அல்லது தாமதப் படுத்தல் ஆகியவற்றில் இருக்கவேண்டும்.

பொருளின் தடியான பாகம் எவ்வளவுக் கெவ்வளவு பின்புற மிருக்கிறதோ அதற்கேற்ப பொருளின் பெரும்பாலான பாகத்தில் எல்லைப் படலமானது படலநிலையுடையதாக இருக்கும். இப்படிப் பட்ட அமைப்பையுடைய விமான இறக்கைகளுக்கு (aircraft wings) படல அமைப்புகள் (laminar profile) எனப் பெயர். ஆனால் பாதகமான அழுத்தச் சரிவுள்ள பகுதிகளில் எல்லைப் படல வளர்ச்சி வேகமாக ஏற்படுவதால் பிரிதல் எளிதில் ஏற்படுகிறது.

எல்லைப் படலமே இல்லாதிருத்தலே இலட்சிய நிலையாகும். இதற்கு எல்லைக்கு அருகிலுள்ள பாய்மம் கட்டற்ற திசைவேகத்தில் நகர்வது அவசியம். அப்போது இலட்சிய பாய்ச்சல் நிகழும். இது நடைமுறையில் சாத்தியமல்லவாஞலும் கட்டற்ற திசை வேகத்தில் எல்லையை நகர்த்திஞல் ஓரளவிற்கு இந்நிலையை அடையலாம். ஆகவே, பொருளைச் சுழற்றிஞல், எந்தப் பாகத்தில் பாய்ச்சலின் திசையில் பொருள் நகருகிறதோ அந்தப் பாகத்தில் எல்லைப் படலம் உண்டாகாது. ஆஞல் எதிர் பாகத்தில் பொருளானது பாய்ச்சலுக்கு எதிர் திசையிலேயேதான் நகர வேண்டியதிருக்கிறது. எனவே, இந்தப் பாகத்தில் பிரிதல் ஏற்படத்தான் செய்யும். இந்த முறையை எல்லைப் படலத்தைக் கட்டுப்படுத்தப் பயன்படுத்திஞல் சர்க்குலேஷன் ஏற்படுகிறது. அதஞல் தூக்கு விசையும் உண்டாகும்.

பிரிதலுக்கு முக்கிய காரணம் எல்லையருகிலுள்ள பாய்மம் உந்தத்தை இழத்தலேயாகும். எல்லையானது சொரசொரப்புள்ள தாக இருக்குமாஞல் கொந்தளிப்பால் ஏற்படும் உந்தப் பரிமாற்றத்தால் உந்த இழப்பு குறைகிறது. ஆஞல் இதைவிடச்



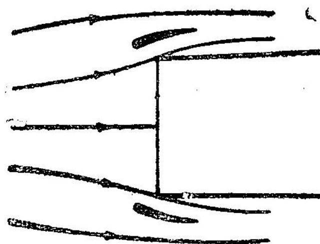


படம் 8·19. எல்லைப் படலத்தைக் கட்டுப்படுத்தல்

சிறந்த முறையானது எல்லையருகில் அதிக உந்தத்தை அதிகமான திசைவேகமுள்ள பாய்மத்தால் அதிகரிப்பதேயாகும். மிக்க ஆற்ற லுள்ள பாய்மத்தை இறக்கையிலுள்ள கீரல்கள் வழியாக படம் 8·19-ல் உள்ளபடி செலுத்துதல் நடைமுறையில் சாத்தியம். இந்த முறை விமான இறக்கைகளில் தாக்குக் கோணம் அதிகமாக இருக்கும்போது பயன்படுத்தப்படுகிறது. படம் 8·20-ல் உள்ள

தட்டையான பொருள்களுக்கு (bluff bodies) முன்னால் அப் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள அமைப்பைப் பொருத்தி எல்லைப் படலம் பொருளின் விளிம்புகளிலிருந்து பிரியாமலிருக்கும்படி செய்யலாம்.

எல்லையருகிலுள்ள மெதுவாக நகர்ந்து செல்லும் பாய்மத்தை எல்லைகளில் இதற்காக இடப்பட்ட நுண்ணிய துளைகளின் வழியாக உறிஞ்சி எடுத்தும் எல்லைப் படலத்தைக் கட்டுப்படுத்தலாம். பிரிதல் ஏற்படும் என்று எதிர் பார்க்கப்படும் பகுதிகளில் நுண் துளைகளைச் சரியாக இட்டு, அவற்றின் வழி பாய்மத்தை உறிஞ்சி எடுப்பதால் எல்லைப் படலத்தில் பிரிதலைத் தடுக்கலாம் எனச் சோதனைகள் மூலம் நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த உறிஞ்சலால் எல்லைப்படலம் கொந்தளிப்புநிலை அடைவதும் தாமதப் படுத்தப்படுகிறது. இருந்தபோதிலும் பொருள்களை உறுதியாகக் கட்டுவதற்கு இத் துளைகள் இடைஞ்சலாக இருக்கின்றன.


படம் 8·20. பிரிதலைத் தடுத்தல்

8·17. சந்திப்புத் தளத்தால் இழுவிசையிலேற்படும் விளைவுகள் (Interfacial Effects on Drag)

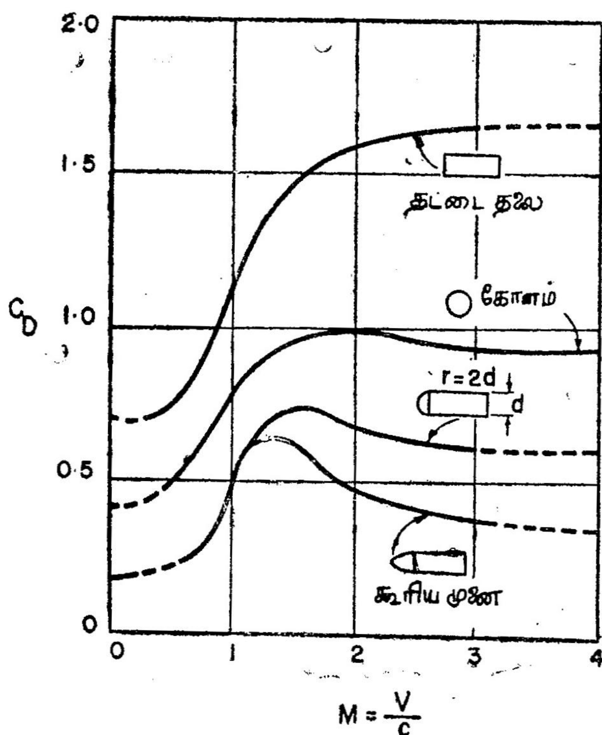
ஒரே படித்தான அமுக்கமற்ற பாய்மத்தில் முழுவதும் மூழ்கி நகரும் பொருளில் ஏற்படும் இழுவிசையானது, அந்தப் பொருளின் அமைப்பையும் ரெயினால்ஸ் எண்ணையும் சார்ந்தது எனப் பார்த்தோம். இப்போது அமுக்கமற்ற இரு பாய்மங்களின் சந்திப்புத் தளத்தில் அல்லது அச்சந்திப்புத் தளத்தின் அருகில் ஒரு பொருள் நகர்வதால் இழுவிசையில் ஏற்படும் மாறுதல்களைப்பற்றி சிறிது படிப்போம். இப்படிப்பட்ட நிலைகளில் இந்தச் சந்திப்புத் தளத்திலேற்படும் அலைகளால் ஆற்றலிழப்பு ஏற்படுகிறது. இதற்கு ஒரு நல்ல எடுத்துக்காட்டு கடலில் செல்லும் கப்பலாகும். அமைப்பு இழுவிசை, உராய்வு இழுவிசை இவற்றோடன்றி அலையால் ஏற்படும் அலை இழுவிசையையும் (wave drag) கப்பல் எதிர்த்துச் செல்ல வேண்டியதிருக்கிறது. அலை இழுவிசையானது புவியீர்ப்பு விசையால் பாதிக்கப்படுவதால் மொத்த இழுவிசை ஃப்ரூடு எண்ணையும் சார்ந்தது. இதை மாதிரிக் கணக்கு 6·15 நன்கு விளக்குகிறது. அமைப்பு இழுவிசைக்கும், அலை இழுவிசைக்கும் ஃப்ரூடு விதியைப் பயன்படுத்தி மாதிரிச் சோதனைகள் செய்யப் படுகின்றன. உராய்வு இழுவிசையைக் கணக்கிட எல்லைப் படலக் கொள்கை பயன்படுகிறது. கப்பலிலும் அதன் மாதிரியிலும்

ரெயினுல்ஸ் எண்ணின் மதிப்பு மிக அதிகமாக இருக்குமாதலால் உராய்வு இழுவிசையைக் கணக்கிடுவதில் எந்தப் பிரச்சினையும் எழுவதில்லை.

8·18. அமுக்கத்தால் இழுவிசையிலேற்படும் விளைவுகள்

கணக்கு 2·4-ல் அமுக்கப் பாய்ச்சலால் ஒரு கோளத்திலேற்படும் இழுவிசையானது ரெயினுல்ஸ், மாக் எண்ணைகளைச் சார்ந்தது என பரிமாணப் பகுப்பாய்வின் அடிப்படையில் வருவித்தோம், பொதுவாக திரவங்களில் ஒலித் திசைவேகமானது (sonic velocity) நடைமுறையில் பொருள்கள் திரவத்தினுள் நகரும் வேகத்தை விட மிக அதிகமாக இருப்பதால் காற்றில் பொருள்கள் நகருவதால் ஏற்படும் அமுக்க விளைவுகள்பற்றி மட்டும் படிப்போம்.

நிலையான அமுக்கப் பாய்ச்சலில் திசைவேகமானது ஒலித் திசைவேகத்தைவிட அதிகமாக இருந்தால் பொருளில் ஏற்படும் இழுவிசையானது மாக் எண்ணை மட்டுமே சார்ந்திருக்கும்;



படம் 8·21. அமுக்கப் பாய்ச்சலில் இழுவிசைக் கெழு

ரெயினுல்ஸ் எண்ணைச் சார்ந்திராது. பொருளின் முன் உண்டாகும் அதிர்ச்சி அலையின் இருபுறமும் ஏற்படும் அடர்த்தி அழுத்த மாறுபாடுகளால் மொத்த இழுவிசையானது மிகவும் பாதிக்கப்படுகிறது. சந்திப்புத் தளமுடைய ஓட்டத்தில் எவ்வாறு அலை இழுவிசை உண்டாகிறதோ அதேபோல் அமுக்கப் பாய்ச்சலில் அலை இழுவிசையும் உண்டாகிறது.

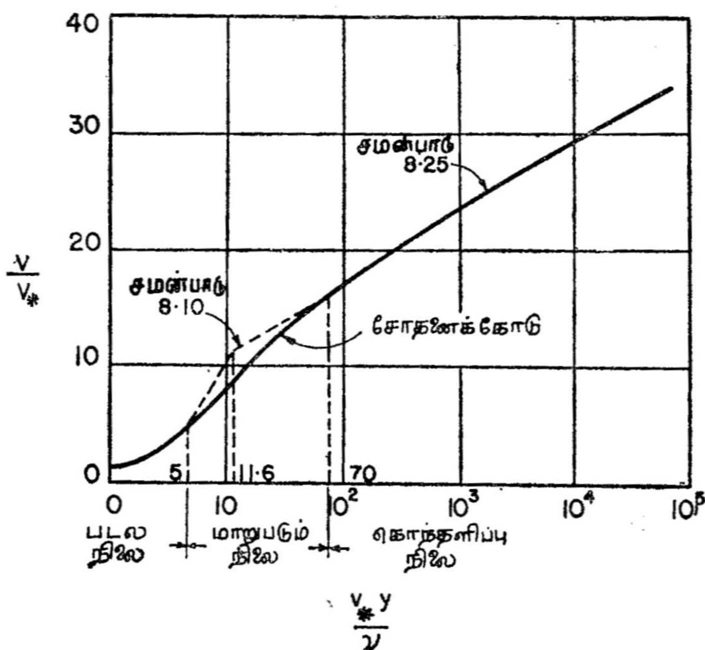
பலவிதமாக அமைப்புகளை உடைய பொருள்களுக்கு அமுக்கப் பாய்ச்சலில் எவ்வாறு இழுவிசைக் கெழு மாறுபடுகிறது என்பது படம் 8·21-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. எல்லாப் பொருள்களுக்கும் மொத்த இழுவிசையானது மாறுநிலை மாக் எண்ணுன (critical Mack number) 0·75-லிருந்து திடீரென அதிகரிக்கிறது. இவ்வாறு ஏற்படுவதற்குப் பொருளின் முன்னுல் ஏற்படும் அதிர்ச்சி அலையே (shock wave) காரணமாகும். எனவே, அமுக்கப் பாய்ச்சலில் பொருள்களை இழைக் கோடு வடிவமுள்ளதாக்குவதால் மொத்த இழுவிசையைக் குறைக்க முடியாது. ஆனுல் அலை இழுவிசையை (wave drag) மிகக் குறைந்த பகுதியில் செயற்படும்படி செய்வதற்கு அப்பொருளின் முனை கூர்மையாக இருக்கும்படி நிர்மாணித்தல் அவசியம். இதனுல் மொத்த இழுவிசை கணிசமான அளவு குறைகிறது. எனவே, மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்தில் (supersonic velocity) பறக்கும் விமானங்களுக்கு அதன் முன்பாகம் கூர்மையாக நீட்டிக் கொண்டிருக்கும்படி அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. ஆதலால் மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகங்களில் மொத்த இழுவிசையானது மாக் எண்ணையும் பொருளின் உருவ அமைப்பையும் பொருத்தது.

8·19. கொந்தளிப்பு ஓட்டத்தில் திசைவேகப் பகிர்வு

இரண்டு இணைத்தளங்களுக்கிடையிலும் குழாயிலும் ஏற்படும் படலநிலைப் பாய்ச்சல்களில் திசைவேகப் பகிர்வு எவ்வாறு இருக்குமென அத்தியாயம் 7-ல் பார்த்தோம். படலநிலை ஓட்டத்திலுண்டாகும் ஆற்றலிழப்பின் மதிப்புகளையும் கண்டறிந்தோம். வழவழப்பான தட்டைத் தகட்டில் படலநிலை எல்லைப் படலப் பாய்ச்சலில் ஏற்படும் இழுவிசை, திசைவேகப் பகிர்வு ஆகியவற்றை அழுத்தச் சரிவற்ற நிலைகளுக்குக் கொள்கை அடிப்படையில் சரியாக பிளாஸியஸ் வருவித்திருக்கிறுர். ஆனுல் கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களில் திசைவேகப் பகிர்வு, ஆற்றலிழப்பு முதலியவற்றை கொள்கை அடிப்படையில் வருவிக்க முடியாமலிருக்கிறது. இதற்கு முக்கிய காரணம் எவ்வாறு இயக்கவிசை சுழற்பாகுநிலை (dynamic eddy viscosity) பாய்ச்சல் புலத்தில் பரவியிருக்கிறது என்பதைத் திட்டமாக அறிய முடியாததேயாகும். எனவே, பகுதி

அனுபவ அடிப்படையில் கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களில் திசைவேகப் பகிர்வை வருவிக்க வேண்டியதிருக்கிறது.

கொந்தளிப்பு எல்லைப்படத்தில் திசைவேகப் பகிர்வை படல நிலை எல்லைப் படலத்தை போன்று ஒரு சமன்பாட்டால் முழுவதும் விளக்க முடியாது. இருந்தபோதிலும் கொந்தளிப்பு எல்லைப் படலத்தின் பல பகுதிகளுக்கும் பொருந்தும் பொதுவான சமன்பாடுகளை வருவிக்க முயல்வோம். கொந்தளிப்பு எல்லைப் படலத்தை மூன்று முக்கிய பகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம். (1) படல உட்படலம் (laminar sublayer): இந்தப் பகுதி எல்லைக்கு மிக அருகிலிருக்கிறது. இங்கே பாகுநிலை ஓங்கியிருப்பதால் கொந்தளிப்புத்தன்மை ஏற்படுவதில்லை. உலைவுகள் அழிந்து எப்போதும் படலநிலையே நிலைக்கும். இந்தப் பகுதி வழவழப்பான எல்லைகளில் மட்டுமே இருக்கும். சொரசொரப்பான எல்லைகளில் முனைகள் (protrusions) போதுமான உயரமிருந்தால் இப்பகுதி கலைக்கப்படுகிறது. (2) இடைப்பகுதி (buffer zone): இப்பகுதி படல உட்படலத்திற்கும்



படம் 8·22. வழவழப்பான குழாயில் பல பகுதிகளைக் காட்டும் விளக்கப்படம்

கொந்தளிப்பு எல்லைப் படலத்திற்கும் இடையிலுள்ள பாகமாகும். இதில் பாகுநிலைத் தன்மையும் கொந்தளிப்புத் தன்மையும் சம

பங்குள்ளனவாக இருக்கும். (3) கொந்தளிப்புப் பகுதி (turbulent zone): இங்கே சுழற்பாகுநிலையின் தன்மைகள் ஓங்கியிருக்கும். படம் 8·22-ல் $\frac{v}{v_*}$-க்கும் $\frac{v_* y}{\nu}$-க்குமுள்ள தொடர்பு காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்தப் படத்தின் உதவியால் மேலே விளக்கப்பட்ட மூன்று பகுதிகளையும் கீழ்க்கண்டவாறு பிரிக்கலாம்.

படல உட்படலம் : $0 < \frac{v_* y}{\nu} < 5$

இடைப்பகுதி : $5 < \frac{v_* y}{\nu} < 30$ முதல் 70 வரை

கொந்தளிப்புப் பகுதி : $\frac{v_* y}{\nu} > 70$

பகுதி 8·4-ல் படல உட்படலத்தில் திசைவேகப் பகிர்வானது சமன்பாடு 8·10 மூலம் விளக்கப்பட்டது. அதாவது கொந்தளிப்பு எல்லைப் படலத்திலுள்ள படல உட்படலத்தில்,

$$\frac{v}{v_*} = \frac{v_*}{\nu} y \qquad y \leq \delta'$$

எனக் காட்டப்பட்டது. படம் 8·22-லிருந்து சமன்பாடு 8·10 ஆனது $\frac{v_* y}{\nu} = 5$-ஆக இருக்கும்வரை பொருந்தும் எனத் தெரிகிறது. எனவே, உட்படலக் கனத்தை (thickness of laminar sublayer)

$$\delta' = \frac{5\nu}{v_*} \qquad (8{\cdot}23)$$

என வரையறுக்கலாம். இந்தக் கனமானது சமன்பாடு 8·10 படம் 8·22 இவற்ருல் விளக்கப்படும் வளைகோடு, நேர்கோடுகளின் வெட்டுப் புள்ளியால் விவரிக்கப்பட்டால், $\delta' = \frac{11{\cdot}6\nu}{v_*}$ ஆகும். சில ஆராய்ச்சியாளர்கள் படல உட்படலத்தின் கனத்தைக் குறிக்கும் சமன்பாடு 8·23-ல் 11·6 என்ற மாறிலியைப் பயன்படுத்துகிருர்கள். இருந்தபோதிலும் சமன்பாடு 8·23-ஐக் கையாளுவதே சிறந்ததாகும். சொரசொரப்பு முனைகள் δ'-வின் மதிப்பைவிட அதிகமாக இருப்பதற்கு முன்னே படல உட்படலம் கலைக்கப்பட்டு பாய்ச்சல் முழுவதும் கொந்தளிப்புத் தன்மையை அடைகிறது. சோதனைகளிலிருந்து சமன்பாடு 8·23-ஐ அடையப்பட்டிருப்பதால் இந்நூலில் இதையே கையாளுவோம்.

8·20. வழவழப்பான எல்லைகளில் திசைவேகப் பகிர்வு

வழவழப்பான எல்லைகளையுடைய அமைப்பில் கொந்தளிப்பு நிலையில் பாய்ச்சல் ஏற்படும்போது திசைவேகப் பகிர்வை இனி வருவிப்போம். பிராண்டலின் கலவை நீளக் கொள்கைப்படி (Prandtl's mixing length hypothesis) இரண்டு தளங்களுக்கிடையே யுள்ள சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவானது சமன்பாடு 7·35-ஆல் கொடுக்கப்படுகிறது. ஆகவே, கொந்தளிப்புப் பாய்ச்சலில்,

$$\tau_t = \rho l^2 \left(\frac{dv}{dy}\right)^2$$

பிராண்டல் வழவழப்பான எல்லைகளுக்கருகில் கலவை நீளம் y-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்கும் என ஊகித்தறிந்தார். மேலும் பாய்ச்சல் புலத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவானது எல்லைச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவிற்குச் சமமாக இருக்குமென்றும் கொண்டார்.

ஆகவே,

$$\tau_\circ = \rho K^2 y^2 \left(\frac{dv}{dy}\right)^2 \qquad (\because l = Ky)$$

(அ-து)
$$\frac{dv}{dy} = \sqrt{\frac{\tau_\circ}{\rho}}\frac{1}{Ky} = \frac{v_*}{Ky}$$

தொகையிட்டால்,

$$v = \frac{v_*}{K}\log_e y + C \tag{8·24}$$

இதிலிருந்து $y=0$-ஆக இருக்கும்போது எல்லையிலுள்ள பாய்மத்தின் திசைவேகம் $-\infty$ ஆகும் எனத் தெரிகிறது. ஆகையால் சமன்பாடு 8·24-ஐ எல்லையருகில் பயன்படுத்த முடியாது. கொந்தளிப்புத் தன்மை எல்லையருகில் இருக்க முடியாததால் இவ்வாறு சமன்பாடு 8·24-ஐ எல்லையருகில் பயன் படுத்த முடியாமலிருத்தல் சரியானதே. இந்தச் சமன்பாட்டி லிருந்து $v=0$-ஆக இருக்கும்போது $y=y'$ ஆகும் எனத் தெரிகிறது. இப்போது y'-ன் மதிப்பு ν, $\tau_\circ$ இவற்றைச் சார்ந்திருக்க வேண்டு மெனக் கொண்டால், $y' \propto \frac{\nu}{v_*}$ ஆகும். எனவே, $v=0$-ஆக இருக்கும்போது,

$$C = -\frac{1}{K}\log_e y' = B - \frac{1}{K}\log_e \frac{\nu}{v_*}$$

மேலேயுள்ள தொகையீட்டு மாறிலியைச் சமன்பாடு 8·24-ல் இட்டால்,

$$\frac{v}{v_*} = A \log_{10} \frac{v_* y}{\nu} + B \qquad (8·25)$$

இதில் $A = \frac{2·3}{K}$, B இவை பரிமாணமற்ற எண்களாகும். சமன்பாடு 8·25-ஐ வழவழப்பான எல்லைகளுக்கருகிலுள்ள திசை வேகப் பகர்விற்கே வருவிக்கப்பட்டிருக்கிறது. மேலும் $l = Ky$, $\tau = \tau_0$ என்ற தற்கோளை நாம் கையாண்டுள்ளோம். இருந்த போதிலும் இச்சமன்பாட்டை கொந்தளிப்புப் புலம் முழுவதும் பயன்படுத்தலாமெனச் சோதனைகளிலிருந்து அறிகிறோம். இதை எந்த அமைப்பில் ஏற்படும் பாய்ச்சலுக்கும் பயன்படுத்தலாமாத லால் இச்சமன்பாட்டை வழவழப்பான எல்லைக்களுக்கான பொதுத் திசைவேகப் பகிர்வு சமன்பாடு (universal velocity distribution equation) என்கிறோம்.

சமன்பாடு 8·25-லுள்ள மாறிலிகளான A, B இவற்றின் மதிப்புகள் குழாய் ஓட்டத்தில் முறையே 5·75, 5·50 எனச் சோதனை களிலிருந்து கண்டறியப்பட்டிருக்கின்றன. பாய்ச்சல் புலத்திற் கேற்ற இவற்றின் மதிப்புகள் சிறிது மாறலாம்.

இடைப் பகுதி(buffer zone)-க்கான மடக்கைச் சமன்பாட்டை வான் கார்மன் கீழ்க்கண்டவாறு வருவித்தார்.

$$\frac{v}{v_*} = -3·05 + 11·5 \log_{10} \frac{v_* y}{\nu} \qquad (8·26)$$

மாதிரிக் கணக்கு 8·9. நீளவாட்டில் 10 மீ நீளமுள்ள வழவழப் பான தகடு முழுவதும் மூழ்கிய நிலையில் படுக்கையாக 5 மீ/வி திசைவேகத்தில் நீரில் (21°C) இழுத்துச் செல்லப்படுகிறது. (அ) படல உட்படலத்தின் கனம் (ஆ) தகட்டின் முன் விளிம்பி லிருந்து 5 மீ தூரத்தில் படல உட்படலத்தின் எல்லையில் திசை வேகம் இவற்றை கணக்கிடு.

$V = 5$ மீ/வி $\qquad \rho = 1000$ கிகி/மீ^{3}

$\nu = 10^{-6}$ மீ^{2}/வி

$x = 5$ மீ

$$R_x = \frac{5 \times 5}{10^{-6}} = 2·5 \times 10^7$$

படம் 8·7-லிருந்து, $\qquad C_f = 0·0025$

$x=5$ தூரத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு,

$$\tau_0 = 0{\cdot}0025 \times 1000 \times \frac{5^2}{2}$$

$$= 31\ 25 \text{ நி/மீ}^2$$

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{\frac{31{\cdot}25}{1000}} = 0{\cdot}176 \text{ மீ/வி}$$

சமன்பாடு 8·23-லிருந்து படல உட்படலத்தின் கனமானது,

$$\delta' = \frac{5\nu}{v_*} = \frac{5 \times 10^{-6}}{0{\cdot}176} = 28{\cdot}6 \times 10^{-6} \text{ மீ}$$

$$= 0{\cdot}0286 \text{ மிமீ}$$

$$v = \frac{\tau_0 y}{\rho \nu} = \frac{31{\cdot}25 \times 28{\cdot}6 \times 10^{-6}}{1000 \times 10^{-6}}$$

$$= 0{\cdot}895 \text{ மீ/வி.}$$

8·21. சொரசொரப்பான எல்லைகளில் திசைவேகப் பகிர்வு

படம் 8·22-லிருந்து $\frac{v_* k}{\nu} \leq$ ஆக இருக்கும்போது எல்லைகளிலுள்ள சொரசொரப்பானது பாய்ச்சலின் தன்மையை மாற்றக் கூடிய அளவு பெரியதாக இல்லாததால் எல்லையானது வழவழப்பானதாகக் கருதலாம். $\frac{v_* k}{\nu} > 70$-ஆக இருக்கும்போது படல உட்படலம் முழுவதும் சிதைக்கப்பட்டு பாய்ச்சல் புலத்திலுள்ள திசைவேகப் பகிர்வு ஒப்புச் சொரசொரப்பை (relative roughness) மட்டுமே பொருத்திருக்கும். சொரசொரப்பான எல்லைகளையுடைய பாய்ச்சல் புலத்தில் திசைவேகப் பகிர்வு ரெயினொல்ஸ் எண்ணைச் சார்ந்திராது. k என்பது புள்ளியியல் (statistics) அடிப்படையில் சொரசொரப்பு முளைகளின் உயரத்தைக் குறிக்கும் ஒரு அளவு என்று மட்டுமே கொள்ள வேண்டுமேயல்லாது சொரசொரப்பு முளைகளின் உயரத்திற்கும் k-யின் மதிப்பிற்கும் நேரடித் தொடர்பு இருப்பதாகக் கொள்ளக் கூடாது.

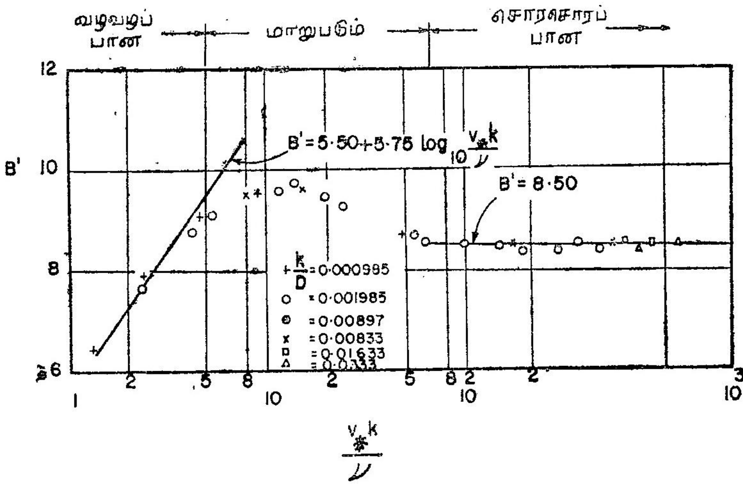
சமன்பாடு 8·24-ல் y'-ன் மதிப்பு k-க்கு நேர்விகிதத்திலிருக்குமெனக் கொண்டால்,

$$C = -\frac{1}{K}\log_e y' = B' - \frac{1}{K}\log_e k$$

C-யின் மதிப்பைச் சமன்பாடு 8·24-ல் இட்டால்,

$$\frac{v}{v_*} = A \log_{10} \frac{y}{k} + B' \qquad (8{\cdot}27)$$

சீரான மணற்பொடிகளால் (sand grain) சொரசொரப்பு உண்டாக்கப்பட்ட குழாய்களில் நிகுராட்ஸே(Nikuradse)-வால் நடத்தப்பட்ட சோதனைகளிலிருந்து கிடைத்துள்ள புள்ளி விபரங்கள் படம் 8·23-ல் உள்ளன. அந்தப் படத்திலிருந்து A, B′ என்ற



படம் 8·23. B′-க்கும் $\frac{v_* k}{\nu}$ -க்குமுள்ள தொடர்பு

மாறிலிகளின் மதிப்புகள் முறையே 5·75, 8·5 என அறியப்படும். எங்கு திசைவேகப் பகிர்வு k-யின் மதிப்பைப் பொறுத்திருக்கிறதோ அங்கு படம் 8·23-லிருந்து,

$$B' = 5{\cdot}50 + 5{\cdot}75 \log_{10} \frac{v_* k}{\mu}$$

எனக் காட்டலாம். இதையே சமன்பாடுகள் 8·25, 8·27 முதலியவற்றிலிருந்தும் அடையலாம். இப்போது படம் 8·23-ன் அடிப்படையிலும் எல்லைகளை வழவழப்பானது அல்லது சொரசொரப்பானதெனப் பாகுபடுத்தலாம். அதாவது, நீரியல் அடிப்படையில் வழவழப்பான தளத்தில் $\frac{v_* k}{\nu} < 5$

மாறுபடும் நிலையிலுள்ள தளத்தில் $5 < \frac{v_* k}{\nu} < 70$

நீரியல் அடிப்படையில் சொரசொரப்பான தளத்தில் $\frac{v_* k}{\nu} < 70$

பாய்ச்சலின் தன்மையைப் பாகுபடுத்திய முறைக்கும் தளத்தின் தன்மையைப் பாகுபடுத்தும் முறைக்குமுள்ள ஒருமைப்பாடு நோக்கற்பாலது.

8·22. திசைவேகக் குறைபாடு விதி (Velocity Defect Law)

சமன்பாடு 8·24-ல் தொகையீட்டு மாறிலியான C-யின் மதிப்பை எல்லை நிபந்தனைகளான $v = V_0$, $y = \delta$ என்பதை இட்டும் அடையலாம். அதாவது

$$C = V_0 - \frac{v_*}{K} \log_e \delta$$

இந்த C-யின் மதிப்பைச் சமன்பாடு 8·24-ல் இட்டால்,

$$v = V_0 + \frac{v_*}{K} \log_e \frac{y}{\delta}$$

(அ-து) $$\frac{V_0 - v}{v_*} = \frac{1}{K} \log_e \frac{\delta}{y} \qquad (8{\cdot}28)$$

இந்தச் சமன்பாட்டில் $(V_0 - v)$ என்ற உறுப்பு திசைவேகக் குறைபாடு என அழைக்கப்படுகிறது. இச் சமன்பாடு எல்லையின் அருகிலுள்ள சிறிய பகுதியைத் தவிர பாய்ச்சல் புலம் முழுவதற்கும் பொருந்தும், இச் சமன்பாடு எல்லைச் சொரசொரப்பையும் ரெயினுல்ஸ் எண்ணையும் பொருத்ததல்ல. எனவே, இதை வழவழப்பான, சொரசொரப்பான இரு எல்லைகளுக்கும் பயன்படுத்தலாம். ஆனல் படல உட்படலத்தில் நிகழும் பாய்ச்சலுக்குப் பயன்படுத்த முடியாது. பல சோதனைகளிலிருந்து திசைவேகக் குறைபாடு விதி அழுத்தச் சரிவற்ற கொந்தளிப்புநிலை எல்லைப் படலங்களுக்குப் பயன்படும் எனத் தெரிகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 8·10. சுத்த நீரைக் கடத்தும் குழாயில் எல்லைச் சொரசொரப்பு (boundary roughness) $k = 0{\cdot}1$ மிமீ ஆகும். அந்த எல்லையில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு 7·8 நி/மீ^{2} ஆனல், தளத்தின் தன்மையை நிர்ணயி. நீரின் இயக்கப் பாகுநிலை $0{\cdot}93 \times 10^{-2}$ ஸ்டோக்ஸ்.

சறுக்குத் திசைவேகம் $v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{\frac{7{\cdot}8}{1000}}$

$= 0{\cdot}0885$ மீ/வி

இப்போது

$$\frac{v_* k}{\nu} = \frac{8{\cdot}85 \times 0{\cdot}01}{0{\cdot}93 \times 10^{-5}} = 9{\cdot}5$$

குழாயின் சொரசொரப்பு மாறுபடும் நிலையிலுள்ளது.

மாதிரிக் கணக்கு 8·11. 200 மிமீ விட்டமுள்ள குழாய் சுத்த நீரைக் கடத்துகிறது. குழாயின் மத்தியிலும், மத்தியிலிருந்து 60 மிமீ தூரத்திலும் திசைவேகங்கள் 2·5 மீ/வி, 2·1 மீ/வி முறையே இருக்குமாஞல் பாய்ச்சல் கொந்தளிப்பு நிலேயுடையது எனக் கொண்டு எல்லேச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவைக் காண்.

குழாயின் மத்தியில் எல்லேப் படலத்தின் உச்ச மதிப்பு இருக்குமாதலால், $\delta = r_\circ$. எனவே, சமன்பாடு 8·29-லிருந்து,

$$\frac{V_\circ - v}{v_*} = 5{\cdot}75 \log_{10} \frac{r_\circ}{y} \text{ (}K\text{ மதிப்பு 0·4-ஆக இருப்பதால்)}$$

இப்போது

$V_\circ = 2{\cdot}5$ மீ/வி $\qquad v = 2{\cdot}14$ மீ/வி

$r_\circ = 0{\cdot}1$ மீ $\qquad r = (0{\cdot}1 - 0{\cdot}06) = 0{\cdot}04$ மீ

எனவே,

$$\frac{2{\cdot}50 - 2{\cdot}14}{v_*} = 5{\cdot}75 \log_{10}\left(\frac{0{\cdot}1}{0{\cdot}04}\right)$$

$$\therefore v_* = 0{\cdot}157 \text{ மீ/வி}$$

(அ-து) $$\sqrt{\frac{\tau_\circ}{\rho}} = 0{\cdot}157$$

$$\therefore \tau_\circ = (0{\cdot}0157)^2 \times 1000 = 24{\cdot}7 \text{ நி/மீ}^2$$

MKS முறையில்

$$\tau_\circ = (0{\cdot}0157)^2 \times \frac{1000}{9{\cdot}81} = 2{\cdot}51 \text{ கிகிஎ/மீ}^2.$$

மாதிரிக் கணக்கு 8·12. சுத்த நீர் (25°C) 3 மீ/வி திசைவேகத்தில் வழவழப்பான படுக்கைத் தளத்தின் மேல் பாய்கிறது. அந்தத் தளத்தில் ஒரு இடத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு 1·35 கிகிஎ/மீ^{2} ஆகும். இந்தத் தளத்தை $k = 0{\cdot}3$ மிமீ மணற்பொடியால் சொரசொரப்பாக்கிஞல் அந்தச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவில் மாறுதல் ஏற்படவில்லே எனக் கொண்டு $y = 3$ மிமீ தூரத்தில்

திசைவேகத்தில் ஏற்படும் மாறுதலைக் காண். சுத்த நீரின் திசை வேகத்தில் மாற்றம் இல்லை. $\nu = 0{\cdot}93 \times 10^{-2}$ மீ^{2}/வி.

(1) சமன்பாடு 8·25-லிருந்து சமன்பாடு 8·27-ஐக் கழித்தால்,

$$\frac{v_{\text{வழவழப்பு}} - v_{\text{சொரசொரப்பு}}}{v_*} = 5{\cdot}75 \log_{10} \frac{v_* y}{\nu} - 3{\cdot}0$$

இப்போது

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{\frac{1{\cdot}35 \times 9{\cdot}81}{1000}} = 0{\cdot}115 \text{ மீ/வி}$$

$$\frac{v_* k}{\nu} = \frac{0{\cdot}115 \times 0{\cdot}3 \times 10^{-3}}{0{\cdot}93 \times 10^{-4}} = 37{\cdot}5$$

$$\therefore \Delta v = 0{\cdot}115\ (5{\cdot}75 \times 1{\cdot}574 - 3) = 0{\cdot}7 \text{ மீ/வி.}$$

(2) வழவழப்பான எல்லைகளுக்கான சமன்பாடு 8·25-லிருந்து,

$$\frac{v}{v_*} = 5{\cdot}75 \log_{10} \frac{v_* y}{\nu} + 5{\cdot}5$$

$$\frac{v_* y}{\nu} = \frac{0{\cdot}115 \times 3 \times 10^{-3}}{0{\cdot}93 \times 10^{-6}} = 375$$

$$v = 0{\cdot}115(5{\cdot}75 \log_{10} 375 + 5{\cdot}5)$$

$$= 2{\cdot}33 \text{ மீ/வி}$$

சொரசொரப்பான எல்லைகளுக்கான சமன்பாடு 8·26-லிருந்து,

$$v = 0{\cdot}115(5{\cdot}75 \log_{10} 10 + 5{\cdot}5)$$

$$= 1{\cdot}63 \text{ மீ/வி}$$

எனவே, $\Delta v = 2{\cdot}33 - 1{\cdot}63 = 0{\cdot}7$ மீ/வி

சொரசொரப்பால் எல்லையருகிலுள்ள திசைவேகம் குறைகிறது. ஆனால் திசைவேக வேறுபாட்டால் எந்தவிதமான மாற்றமும் இல்லை என்பது நோக்கற்பாலது.

பயிற்சிக் கணக்குகள்

8·1. இடப் பெயர்ச்சிக் கனம் δ_1, உந்தக் கனம் θ முதலியவற்றை கீழ்க்கண்ட திசைவேகப் பகிர்வுகளுக்கு கணக்கிடுக.

$$(\text{அ}) \quad \frac{v}{V_\circ} = \frac{y}{\delta}$$

$$(\text{ஆ}) \quad \frac{v}{V_\circ} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{\frac{1}{7}}$$

8·2. ஒரு காற்று புழலின் (wind tunnel) முழு அகலத்திற்கும் 3 மீ நீளமுள்ள ஒரு மெல்லிய தகடு காற்றின் திசைவேகத்திற்கு இணையாக இருக்கும்படி பொருத்தப் பட்டுள்ளது. நீளவாட்டில் எல்லைப் படலத்தைக் கணக்கிடுக.

8·3. ஒரு படகின் 10 மீ^{2} பரப்புள்ள பாய்மரம் (mast) 30 கிமீ/மணி திசைவேகமுள்ள காற்றிற்கு எதிராகப் பிடிக்கப் பட்டுள்ளது. அந்தப் பாய்மத்தின் வழியாக காற்று புகவில்லை எனக் கொண்டு பாய்மத்தில் ஏற்படும் இழுவிசையைக் கணக்கிடு. இப் பாய்மம் காற்றின் திசைவேகத்திற்கு இணையாகப் பிடிக்கப்பட்டால் எந்த அளவிற்கு இழுவிசை குறையும்?. பாய்மரத்தின் உயரம் 5 மீ. காற்றின் வெப்பம் 20°C.

8·4. 4 மீ அகலம் 15 மீ நீளமுள்ள ஒரு படகுப் பாலம் (pontoon) நீரில் 40 கிமீ/மணி வேகத்தில் இழுத்துச் செல்லப்படுகிறது. பரப்பில் ஏற்படும் உராய்வுத் தடையை எதிர்க்க என்ன திறன் வேண்டும்? நீரின் வெப்பநிலை 20°C.

8·5. இழைக் கோடு வடிவமுடைய 8 மிமீ விட்ட உருளை வடிவ 0·4 மீ நீள அம்பானது காற்றில் (30°C) 40 மீ/வி திசைவேகத்தில் செல்கிறது. அதில் ஏற்படும் இழுவிசை என்ன?

8·6. ஒரு கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகமுள்ள (subsonic) காற்றுப் புழலில் காற்றின் திசையில் புழலின் மத்தியில் எல்லைப் படல வளர்ச்சியால் திசைவேகம் அதிகரிக்கிறது. இதை எப்படி சரிப்படுத்துவது?

8·7. ஒரு இழைக் கோடு வடிவமைப்புள்ள 200 மீ ரயில் வண்டித் தொடரின் சுற்றளவு 9 மீ ஆகும். அந்த ரயில் வண்டித் தொடர் 100 கிமீ/மணி வேகத்தில் செல்லும்போது பரப்பு உராய்வால் (surface friction) ஏற்படும் இழு விசையின் மதிப்பு என்ன ? காற்றின் அடர்த்தி 1·2 கிகி/மீ^{3}. $\nu = 1{\cdot}75 \times 10^{-5}$ மீ^{2}/வி. வண்டித் தொடரின் முடிவில் எல்லைப் படலக் கனத்தைக் கணக்கிடு. அதன் முன் விளிம்பிலிருந்து எவ்வளவு தூரத்திற்குப் படலநிலை எல்லைப் படலம் நீடிக்கும் ?

8·8. 2 மீ × 6 மீ அளவுள்ள மெல்லிய தகடு அதன் 2 மீ பக்கம் காற்றின் திசைக்கு நேர்குத்தாக இருக்கும்படி காற்றில் (20°C) 100 மீ/வி திசைவேகத்தில் இழுத்துச் செல்லப் படுகிறது. கீழ்க்கண்ட நிலைகளுக்கு இழுவிசையையும் தேவையான திறனையும் கணக்கிடு. (அ) அந்தத் தகட்டின் முழு நீளத்திலும் எல்லைப்படலம் படலநிலையுள்ளதாக இருக்கிறது. (ஆ) படலநிலை எல்லைப் படலம் $R = 3 \times 10^5$-ல் நிலைப்பாடற்ற தன்மையை அடைகிறது. (இ) அந்தத் தகட்டின் முழு நீளத்திற்கும் எல்லைப் படலம் கொந்தளிப்பு நிலை உடையது.

8·9. 1 மீ × 3 மீ பரப்புள்ள ஒரு விளம்பரப் பலகையை 80 கிமீ/மணி வேகத்தில் நேர்குத்தாக காற்று தாக்கினால் அதில் ஏற்படும் விசை என்ன ?

8·10 6·5 மீ^{2} குறுக்குப் பரப்புள்ள ஒரு விளம்பரப் பலகையை 75 கிமீ/மணி வேகத்தில் செல்லும்போது அதில் 200 கிகிஎ தடைவிசை (resisting force) தொழிற்படுகிறது. இதில் 20% உருள் உராய்வால் (rolling friction) ஏற்படுவது; 10% பரப்பு உராய்வால் ஏற்படுவது; மீதியுள்ளது அமைப்பு இழுவிசையாகும். அமைப்பு இழுவிசைக் கெழுவின் மதிப்பு என்ன ?

8·11. 1 மீ விட்டமுள்ள கோளம் 30 மீ/வி திசைவேகமுள்ள காற்றில் (30°C) இருக்குமானால் ரெயினல்ஸ் எண், இழு விசைக் கெழு, மொத்த இழுவிசை இவற்றைக் காண்.

8·12. 60 மீ உயரமும், சராசரி 5 மீ விட்டமும் உள்ள ஒரு புகைபோக்கியை 80 கிமீ/மணி வேகமுள்ள காற்று (30°C) தாக்குவதால் ஏற்படும் மொத்த விசை என்ன ?

8·13. படம் 8·14-ல் உள்ள விமானத்தின் உடற்பகுதி(hull)யின் அமைப்பை இழைக் கோடு வடிவமைப்புள்ள கார் உடைத்து எனக் கொண்டு, கார் 2 மீ விட்டமுள்ளதாக இருக்குமானுல் 36 கிமீ/மணி வேகத்தில் காற்றில் அதில் ஏற்படும் இழுவிசை என்ன? அந்தக் கார் 1:0·75 நீள் வட்ட அமைப்புள்ளது என எடுத்துக் கொண்டால் இழுவிசையில் ஏற்படும் அதிகரிப்பு எவ்வளவு?

8·14. 4 மிமீ விட்டமுள்ள ஒரு ஈயக்குண்டு ($S=11$) 0·6 பாய்ஸ் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையுள்ள திரவத்தில் என்ன சீரான திசைவேகத்தில் இறங்கும்? திரவத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி 0·855.

8·15. 10°C வெப்பநிலையில் வளிமண்டலத்தில் 1 மிமீ விட்டமுள்ள பனித்துளி 10 மிமீ விட்டமுள்ள ஆலங்கட்டி (hailstone) சீராக விழும் வேகத்தைத் கணக்கிடு.

8·16. 0·5 மிமீ விட்டமுள்ள வண்டல்மண் (sediment) 20°C வெப்பநிலையுள்ள சுத்த நீரில் 5 மீ தூரம் கீழே இறங்க எவ்வளவு நேரமாகும்? வண்டலின் ஒப்பு அடர்த்தி 2·45.

8·17. ஒரு காற்று புழலிலுள்ள 150 மிமீ விட்டக் கோளத்தில் காற்றின் வேகத்தால் 0·15 கிகிஎ விசை ஏற்பட்டால் காற்றின் வேகம் என்ன? காற்றின் வெப்பநிலை 20°C.

8·18. ஒரு கோளத்தின் எறிபரப்பு (projected area) 1 மீ^{2} ஆகும். அக்கோளம் 30 கிமீ/மணி வேகத்தில் (அ) காற்றில் (30°C), (ஆ) நீரில் (20°C) செல்லும்போது ஏற்படும் இழுவிசைகளைக் கணக்கிடு.

8·19. 1 மீ விட்டமுள்ள கோளவடிவான பலூனில் தொழிற்படும் மிதப்புவிசை 2 கிகிஎ. அந்தப் பலூனின் எடை 1·3 கிகிஎ. அது 20°C வெப்பநிலை உள்ள வளிமண்டலத்தில் என்ன வேகத்தில் மேலே செல்லும்?

8·20. 0·2 மீ விட்டமுள்ள ஒரு கூடைப் பந்து 30°C வெப்பநிலையுள்ள வளிமண்டலத்தில் 7 மீ/வி திசைவேகத்தில் எறியப்படுகிறது. அதில் ஏற்படும் இழுவிசை என்ன?

8·21. இரண்டு தந்திக் கம்பங்களுக்கிடையேயுள்ள தூரம் 15 மீ. தந்திக் கம்பியின் விட்டம் 6 மிமீ. காற்றின் வேகம் 40 கிமீ/மணி-ஆக இருக்கும்போது ஒரு தந்திக் கம்பத்தில் தந்திக் கம்பியால் ஏற்படும் இழுவிசை என்ன?

8·22. 5 மிமீ விட்டம், 1·5 மீ நீளமுள்ள ஒரு கம்பியில் 60 கிமீ/மணி காற்று (20°C) வீசுவதால் அதன் அடிப்பாகத்தில் ஏற்படும் திருப்புதிறன் என்ன ?

8·23. 90 கிமீ/மணி காற்றின் வேகத்தில் (25°C) 3 மிமீ விட்டக் கம்பியில் அதிர்வு எண் என்ன ?

8·24. ஒரு நீர்மின்சார நிலையத்தில் நீர் நுழையும் வாயிலுள்ள செத்தை தடுக்கும் வலையிலுள்ள கம்பியின் விட்டம் 30 மிமீ. அவை 0·2 மீ இடைவெளியில் வைக்கப் பட்டுள்ளன. அந்தக் கம்பியின் இயற்கை அதிர்வெண்ணின் காலம் (natural period of vibration) $\frac{1}{20}$ விஞடியாஞல் 20°C வெப்பநிலையிலுள்ள நீர் எந்த வேகத்தில் செல்ல வேண்டும் ?

8·25. உருளைகளையும், கோளங்களையும் திசைவேக அளவு மானிகளாகப் பயன்படுத்துவது பற்றி விவாதிக்கவும்.

8·26. சர்க்குலேஷன் என்ருல் என்ன ?

8·27. ஒரு சோதனை நீர்த்தொட்டியில் சுழலும் உருளைகளால் படகை செலுத்துவதுபற்றி ஆராயப்படுகிறது. அச்சோதனைப் படகை நிலையான திசைவேகத்தில் நகரச் செய்யத் தேவையான விசை 30 கிகிஎ; இந்த விசையை உண்டாக்க 0·3 மீ விட்டம், 1 மீ நீளமுள்ள உருளை 30 மீ/வி திசைவேகமுள்ள காற்றில் என்ன வேகத்தில் சுற்றப்படவேண்டும் ? காற்றின் வெப்பநிலை 30°C.

8·28. தாக்குக் கோணம் 4°-யிலிருந்து 8° வரை மாறும்போது தூக்கு விசைக்கெழு C_L நேர்விகிதத்தில் 0·4 முதல் 0·8 வரை மாறுவதாக எடுத்துக் கொள்வோம். விமான இறக்கையின் பரப்பு 20 மீ^{2}. காற்றின் வெப்பநிலை 20°C-ஆக இருக்கும்போது 1000 கிகிஎ உள்ள விமானம் 144 கிமீ/மணி வேகத்தில் பறக்க தாக்குக் கோணத்தின் அளவு என்னவாக இருக்க வேண்டும் ?

8·29. கணக்கு 8·28-ல் தாக்குக் கோணம் 0° முதல் 5° வரை மாறும்போது இழுவிசைக் கெழு 0·02 முதல் 0·07 வரை நேர்விகிதத்தில் மாறுமாஞல் விமானத்திற்குத் தேவையான திறன் என்ன ?

8·30. 1 மீ^{2} பரப்புள்ள பட்டத்தின் எடை 1 கிகி. அது 36 கிமீ/மணி வேகமுள்ள காற்றில் பறக்கும்போது கிடைத்தளத்திற்கு 7° சாய்ந்திருக்கிறது. அந்தப் பட்டத்தோடு இணைக்கப்பட்டிருக்கும் நாணில் ஏற்படும் விசை 5 கிகி ஆகும். இந்த நாண் கிடைத்தளத்திற்கு 45° சாய்ந்திருக்குமானால் தூக்கு, இழுவிசைக் கெழுகளைக் கணக்கிடு.

8·31. ஒரு விமான இறக்கையின் மாதிரி காற்றுபுழலில் 90 கிமீ/மணி வேகத்திலுள்ள காற்றில் சோதனை செய்யப்படுகிறது. இறக்கையின் நீளம் 1 மீ; அகலம் 0·1 மீ. காற்றின் வெப்பநிலை 25°C. அந்த இறக்கையில் உண்டான இழு, தூக்கு விசைகள் முறையே 0·19 கிகி, 2·0 கிகி ஆகும். இழு, தூக்கு விசைக்கெழுக்களின் மதிப்பென்ன?

8·32. 800 ச·செமீ எறிபரப்புள்ள ஒரு ராக்கெட் அதிக மாக் எண் வேகத்தில் செல்லும்போது இழுவிசைக் கெழு 0·2. அந்த ராக்கெட்டிலிருந்து ஒரு கனமீட்டருக்கு 0·72 கிகி உடைய வாயு 300 மீ/வி வேகத்தில் 150 மிமீ தாரையாக ஒப்புத் திசைவேகத்தில் வெளிவந்தால் அந்த ராக்கெட்டின் நிலையான திசைவேகம் என்ன?

8·33. வளி மண்டலத்தில் தரையிலிருந்து 2 மீ, 3 மீ உயரத்தில் காற்றின் திசைவேகங்கள் முறையே 2·5 மீ/வி, 3·0 மீ/வி ஆக இருக்கின்றன. திசைவேகப் பகிர்வு மடக்கையாக இருப்பதாக எடுத்துக் கொண்டு தரையிலிருந்து 15 மீ உயரத்தில் திசைவேகம் என்ன எனக் கணக்கிடு.

8·34. 100 மிமீ விட்டக் குழாயில் 20°C வெப்பநிலையில் நீர் 20 லிட்டர்/வி பாயுவீதத்தில் பாயும்போது 30 மீ நீளத்தில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு 1 மீ நீர் உயரத்திற்குச் சமமாகும். இந்தக் குழாயில் படல உட்படலக் கனத்தைக் கணக்கிடு. அந்தப் படல உட்படலத்தின் விளிம்பில் திசைவேகம் என்ன?

8·35. 20°C வெப்பநிலையிலுள்ள சுத்த நீரில் வழவழப்பான தட்டைத் தகடு கிடையாக 20 மீ/வி திசைவேகத்தில் இழுத்துச் செல்லப்படுகிறது. அந்தத் தகட்டின் முன் விளிம்பிலிருந்து x-தூரத்தில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு 40 கிகி/மீ^{2} ஆகும். (அ) அந்தத் தகட்டிலிருந்து 1 மிமீ தூரத்தில் திசைவேகம் என்ன? (ஆ) முன்

விளிம்பிலிருந்து x தூரத்தில் எல்லைப் படலக் கனத்தையும் y-ன் மதிப்பையும் கணக்கிடு. (இ) அந்தத் தகடானது $k=0{\cdot}1$ மிமீ அளவிற்குச் சொரசொரப்புடையதாக்கப்பட்டால் $y=1$ மிமீ தூரத்தில் திசைவேகம் என்ன?

8·36. 200 மீ நீளமுள்ள கப்பல் கடலில் 10 மீ/வி வேகத்தில் செல்கிறது. இதன் 2 மீ நீள மாதிரி ஃப்ரூடு விதியின் அடிப்படையில் சுத்த நீர் சோதனைத் தொட்டியில் அசலுக்குச் சமமான திசைவேகத்தில் செல்கிறது. கப்பலின் முனையிலிருந்து எல்லைப் படலம் கொந்தளிப்பு நிலையுடையதெனக் கொண்டு மாதிரியிலும் அசலிலும் கையாளக் கூடிய சொரசொரப்புகளின் மதிப்பு என்ன?

8·37. ஒரு குழாயின் மத்தியிலும், கால் பாகத்திலும் திசைவேகங்கள் முறையே 1·5 மீ/வி, 1·35 மீ/வி ஆகும். அந்தக் குழாயில் பாய்ச்சல் கொந்தளிப்புத் தன்மைத்தாக இருக்குமானால் குழாயின் சுவரில் ஏற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு என்ன?

9. குழாய்களில் கொந்தளிப்பு ஓட்டம் (Turbulent Flow in Pipes)

9·1. முன்னுரை

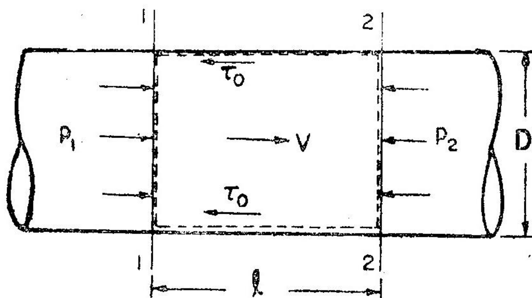
வட்டவடிவ குறுக்குவெட்டுப் பரப்புள்ள பாய்மக் கடத்திகள் பொறியியற் துறையில் அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படுவதால் அவற்றின் வழி பாயும் பாய்மத்தில் ஏற்படும் திசைவேகப் பகிர்வு, அழுத்த வேறுபாடு, ஆற்றலிழப்பு முதலியவை பற்றிய விபரங்கள் மிகுதியாகத் தேவைப்படுகின்றன. குழாயில் பாய்ச்சல் படலநிலையில் இருக்கும்போது மேற்கூறிய விபரங்கள்பற்றி அத்தியாயம் 7-ல் படித்தோம். ஆனால் நடைமுறையில் ஏற்படும் பெரும்பாலான பாய்மக் கடத்திப் பாய்ச்சல்கள் கொந்தளிப்புநிலை உடையன. கொந்தளிப்புப் பாய்ச்சலில் எல்லா உண்மைகளையும் கொள்கை அடிப்படையில் அறிய முடியாததலால் பகுதி அனுபவ (semi-empirical) அல்லது அனுபவ (empirical) ரீதியிலேயே பல உண்மைகளை அடைய வேண்டியதிருக்கிறது. இந்த அத்தியாயத்தில் முதலில் டார்ஸி-வெயிஸ்பாக் சமன்பாடு (Darcyy-Weisbach equation), பின்னர் கொந்தளிப்பு ஓட்டங்களுக்கு எல்லைப் படலக் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி திசைவேகப் பகிர்வு, உராய்வுக் கெழு முதலியன வருவிக்கப்பட்டுள்ளன. மூடி வரைபடத்தை (Moody diagram) வட்ட, வட்டமற்ற குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள பாய்மக் கடத்திகளுக்கு எவ்வாறு பயன்படுத்துவது என்பதும் விளக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த அத்தியாயத்தின் முக்கிய குறிக்கோள் குழாய்கள், குழாய் வலையமைப்புகள் (pipe net works) முதலியவற்றில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பை அறிதலேயாகும். பலதரப்பட்ட குழாய் சாதனங்களால் (pipe fittings) ஏற்படும் ஆற்றலிழப்புகளும் தரப்பட்டுள்ளன. சில எடுத்துக்காட்டுகளால் ஆற்றலிழப்பைக் கணக்கிடும் முறைகள் விளக்கப்பட்டுள்ளன.

குழாய்களில் நிலையற்ற ஓட்டங்களால் ஏற்படும் சில முக்கிய விளைவு களும் விவரிக்கப்பட்டுள்ளன. இந்த அத்தியாயத்தின் இறுதியில் பலதரப்பட்ட பாயுவீத அளவுமானிகளும் அவற்றின் பலன்களும் விவரிக்கப்பட்டுள்ளன.

இவ்வத்தியாயத்தில் ஒருபடித்தான, நிலையான, அடர்த்தி மாறாத, கொந்தளிப்பு நிலையிலுள்ள பாய்ம ஓட்டங்கள் பாய்மக் கடத்தியில் ஏற்படுவதுபற்றி படிப்போம். பாய்ச்சலில் அடர்த்தி வேறுபாடு புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு குறைவாக இருக்குமானால் இந்த அத்தியாயத்தில் நாம் வருவித்துள்ள உண்மைகளை வாயு ஓட்டங்களுக்கும் பயன்படுத்தலாம்.

9·2. குழாய் ஓட்டங்களில் உராய்வு இழப்பு (Frictional Loss in Pipe Flows)

ஒன்றுக்கொன்று தொட்டுக் கொண்டிருக்கும் இரண்டு பொருள்களுக்கிடையே ஒப்பு இயக்கம் இருக்குமானால் அவற்றிடையே ஏற்படும் உராய்தல்(sliding) அல்லது உருளுதலால் (rolling) உராய்வு விசை ஏற்பட்டு அதனால் ஆற்றலிழப்பு உண்டா கிறது. ஆனால் பாய்மம் ஒரு கடத்தியினுள் அல்லது ஒரு பொரு ளின் வெளியில் பாய்வதால் எல்லையருகிலுள்ள பாய்மத் துகள்கள் அந்த எல்லையின் திசைவேகத்தை உடையதாக இருக்கின்றன. ஆகவே, எல்லைக்கும் பாய்மத்திற்குமிடையே உரசலோ அல்லது உருளுதலோ நிகழ்வதில்லை. ஆனால் பாய்ச்சல் புலம் முழுவதும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவும் திசைவேகச் சரிவும் பாய்மத்தின் பாகுநிலையால் ஏற்படுகிறது. இந்தப் பாகுநிலைத் தன்மையாலே சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு ஏற்பட்டு அதனால் ஆற்றலிழப்பு உண்டாகிறது. இதை உராய்வால் ஏற்படும் இழப்பு (loss due to friction) என அழைக்கிறோம். இந்த ஆற்றலிழப்பிற்குப் புறப்பரப்பு உராய்வு இழப்பு(surface or skin friction loss) என்றும் அழைக்கப் படுகிறது.



படம் 9·1. வட்டக் குழாய் ஆட்சிபருமனில் புறவிசைகள்

ஒரு சீரான விட்டமுள்ள குழாயில் முதிர்ச்சியடைந்த, நிலையான, கொந்தளிப்பு ஓட்டத்தில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பை வருவிப்போம். படம் 8·1-ல் உள்ளபடி கிடையான D விட்டமுள்ள l நீளக்குழாயை எடுத்துக் கொள்வோம். படத்திலுள்ள l நீள ஆட்சிபருமனில் செயற்படும் விசைகளை எடுத்துக் கொண்டால்,

$$(p_1-p_2)\frac{\pi D^2}{4}=\pi D l \tau_0$$

$$\therefore \qquad \tau_0=\frac{(p_1-p_2)}{4l}D$$

இதில் D என்பது குழாய் விட்டத்தையும், τ_0 எல்லைச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவையும் குறிக்கின்றன. மேலே உள்ள சமன்பாடு படலநிலை, கொந்தளிப்புநிலை இரண்டிற்குமே பொருந்தும். குழாயில் ஏற்படும் பாய்ச்சலானது தட்டைத் தகட்டில் முழுவதும் வளர்ச்சியடைந்துள்ள எல்லைப் படலத்திற்கு ஒப்பானது எனக் கொண்டால் தட்டைத் தகட்டிற்கான மேல் உராய்வுச் சமன்பாட்டை இதற்கும் பயன்படுத்தலாம். எனவே,

$$\tau_0=\frac{f}{4}\,\frac{\rho V^2}{2} \tag{9·1}$$

இதில் ρ குழாயில் பாயும் பாய்மத்தின் அடர்த்தியையும் V சராசரித் திசைவேகத்தையும், f உராய்வுக் கெழுவையும் குறிக்கும். இப்போது

$$(p_1-p_2)=\frac{fl}{D}\,\frac{\rho V^2}{2}$$

ஆற்றலிழப்பை அந்தப் பாய்மத்தின் உயரமாக எழுத அழுத்த வேறுபாட்டை அலகு பருமனெடையால் வகுத்தால்,

$$\frac{p_1-p_2}{w}=h_1-h_2=h_f=\frac{flV^2}{2gD} \tag{9·2}$$

இந்தச் சமன்பாட்டிற்குக் குழாய் ஓட்டத்திற்கான டார்ஸி-வெயிஸ்பாக் சமன்பாடு எனப் பெயர். வட்டமற்ற கடத்திகளில் D ஆனது $4R$ என்பதால் குறிக்கப்படும். R என்பது நீரியலாரத்தைக் (hydraulic radius) குறிக்கும். நீரியலாரமானது குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பிற்கும் ஈரச் சுற்றளவிற்குமுள்ள விகிதமாகும். இந்தச் சமன்பாட்டில் g என்ற புவியீர்ப்பு முடுக்கத்தின் விளைவுகள் எதுவும் ஏற்படுவதில்லை என்பது நோக்கற்பாலது. புவியீர்ப்பு முடுக்கமான g ஆற்றலிலப்பை குழாய்மானி உயரமாக எழுவதற்கான வசதிக்காகவே இந்தச் சமன்பாட்டில் நுழைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 9·1. 200 மிமீ விட்டமுள்ள குழாயில் (S=0·716) 600 லிட்டர்/வி பாயுவீதத்தில் பாய்கிறது. பெட்ரோலின் வெப்பநிலை 20°C. குழாயின் நீளம் 1 கிமீ ஆனால், அழுத்த வேறுபாட்டையும் அந்தப் பாயுவீதத்திற்குத் தேவையான திறனையும் கணக்கிடு.

$D=0{\cdot}2$ மீ $\qquad \nu=4\times10^{-3}$ செமீ²/வி

$Q=0{\cdot}6$ மீ³/வி $\qquad S=0{\cdot}716$

$$V=\frac{0{\cdot}6\times4}{\pi\times0{\cdot}2^2}=1{\cdot}9 \text{ மீ/வி}$$

$$\therefore \quad \mathbf{R}=\frac{VD}{\nu}=\frac{190\times20}{4\times10^{-3}}=8{\cdot}5\times10^5$$

மூடி வரைபடத்திலிருந்து, $\frac{k}{D}=0{\cdot}005$-க்கு $f=0{\cdot}013$.

ஆகவே, ஆற்றலிழப்பு $\quad h_f=\frac{flV^2}{2gD}$

$$=\frac{0{\cdot}013\times1000\times1{\cdot}9^2}{2\times9{\cdot}81\times0{\cdot}2}$$

$$=12 \text{ மீ}$$

MKS முறையில்

$$\text{தேவையான திறன்}=\frac{wQh_f}{75}=\frac{716\times0{\cdot}6\times12}{75}$$

$$=67{\cdot}7 \text{ பரிதிறன்}$$

SI முறையில்

தேவையான திறன் $=0{\cdot}716\times98{\cdot}1\times0{\cdot}6\times12=50{\cdot}6$ கிவா.

9·3. குழாய் ஓட்டத்தில் திசைவேகப் பகிர்வை சராசரித் திசைவேகத்தால் விளக்குதல்

அத்தியாயம் 8-ல் நிகுராட்ஸேயின் (Nikuradse) சோதனைகளிலிருந்து கொந்தளிப்பு ஓட்டம் வழவழப்பான குழாய்களில் நிகழும்போது திசைவேகப் பகிர்வானது,

$$\frac{v}{v_*}=5{\cdot}75\log_{10}\frac{v_*y}{\nu}+5{\cdot}5 \qquad (9{\cdot}3)$$

என்றும், சொரசொரப்பான குழாய்களில்,

$$\frac{v}{v_*}=5{\cdot}75\log_{10}\frac{y}{k}+8{\cdot}5 \qquad (9{\cdot}4)$$

என்றும் காட்டப்பட்டன. இதில் v என்பது குழாயின் சுவற்றி லிருந்து y-தூரத்திலுள்ள திசைவேகத்தைக் குறிக்கும். இந்தத் திசைவேகப் பகிர்வானது குழாயின் சுவர்க்கருகிலுள்ள மிகச் சிறிய பகுதியைத் தவிர மற்ற பெரும்பாலான பகுதிக்கும் பொருந்தும். இந்த மிகச் சிறிய பகுதியானது படல உட்படலத்தையும் (laminar sublayer), இடைப் பகுதியையும் (buffer zone) குறிக்கும். இதன் வழி பாயும் பாய்மத்தின் அளவு புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு மிகச் சிறியதாக இருக்குமாதலால் நாம் இந்தப் பாயுவீதத்தை எடுத்துக் கொள்ளத் தேவையில்லை.

r_o ஆரமுள்ள குழாயில் பாயுவீதம் Q ஆனுல் சராசரித் திசை வேகமான V

$$= \frac{Q}{\pi r_o^2} = \frac{\int_{\delta''}^{r_o} v 2\pi r\, dr}{\pi r_o^2}$$

இதில் δ'' என்பது படல உட்படலம், இடைப் பகுதி ஆகிய இரண்டின் கனத்தையும் குறிக்கும். δ'' மிகச் சிறியதாக இருக்கு மாதலால்,

$$V = \frac{\int_{r_o}^{\delta'' \to 0} v\, 2\pi (r_o - y)\, dy}{\pi r_o^2}$$

இதில் $r = r_o - y$; $dr_o = -dy$ ஆகும்.

சமன்பாடு 9·3-ஐ மேலேயுள்ள சமன்பாட்டில் இட்டால்,

$$\frac{V}{v_*} = 1{\cdot}75 + 5{\cdot}75 \log_{10} \frac{v_* r_o}{\nu} \qquad (9{\cdot}5)$$

அதேபோல் சமன்பாடு 9·4-ஐ இட்டால்,

$$\frac{V}{v_*} = 3{\cdot}75 + 5{\cdot}75 \log_{10} \frac{r_o}{k} \qquad (9{\cdot}6)$$

இப்போது சமன்பாடு 9·6-லிருந்து சமன்பாடு 9·3-ஐக் கழித்தால்,

$$\frac{v - V}{v_*} = 3{\cdot}75 + 5{\cdot}75 \log_{10} \frac{y}{r_o} \qquad (9{\cdot}7)$$

சமன்பாடு 9·7-ஐ, சமன்பாடு 9·6-ஐச் சமன்பாடு 9·4-லிருந்து கழித்தும் அடையலாம் என்பது நோக்கற்பாலது. எனவே, ஓட்ட

மானது படலநிலையிலிருந்தாலும் அல்லது கொந்தளிப்பு நிலையிலிருந்தாலும் குழாயின் மத்திய பாகத்தில் சமன்பாடு 9·7 பொருந்துமெனத் தெரிகிறது. திசைவேகக் குறைபாடான (velocity defect) $(V - v)$ சொரசொரப்பு உயரம் k-யைச் சார்ந்ததில்லை; ஆனல் எல்லைச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவான τ_0-வைச் சார்ந்தது என்பது தெளிவு.

9·4. திசைவேகப் பகிர்வும் உராய்வுக் கெழுவும்

சறுக்குப் பெயர்ச்சித் திசைவேகத்தை (shear velocity) உராய்வுக் கெழுவினல் விளக்கினல், சமன்பாடு 1·9-லிருந்து,

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = V\sqrt{\frac{f}{8}} \tag{9·8}$$

சமன்பாடு 9·8-ஐச் சமன்பாடு 9·7-ல் இட்டால்,

$$\frac{v - V}{V\sqrt{\frac{f}{8}}} = 3{\cdot}75 + 5{\cdot}75 \log_{10}\frac{y}{r_0}$$

$$\frac{v - V}{V\sqrt{f}} = 1{\cdot}32 + 2{\cdot}03 \log_{10}\frac{y}{r_0}$$

(அ-து) $$\frac{v}{V} = 1 + \sqrt{f}\left(1{\cdot}32 + 2{\cdot}03 \log_{10}\frac{y}{r_0}\right) \tag{9·9}$$

எனவே, குழாயில் ஏற்படும் திசைவேகப் பகிர்வை சராசரித் திசைவேகத்தால் எழுதினல், $\frac{v}{V}$-ஆனது f-ஐ மட்டும் சார்ந்திருக்கிறதெனத் தெரிகிறது. குழாயின் சுவர்கள் வழவழப்பாக அல்லது சொரசொரப்பாக இருந்தாலும் சமன்பாடு 9·9-ஐப் பயன்படுத்தலாம். சமன்பாடு 9·9-லுள்ள மாறிலிகளைச் சோதனைகளிலிருந்து அடைந்த புள்ளி விபரங்களுக்குப் பொருந்தும்படி மாற்றினல்,

$$\frac{v}{V} = 1 + \sqrt{f}\left(1{\cdot}43 + 2{\cdot}15 \log_{10}\frac{y}{r_0}\right) \tag{9·10}$$

குழாயின் மத்தியில் ஏற்படும் உச்சத் திசைவேகத்தை அடைய சமன்பாடு 9·10-ல் $y = r_0$, $v = v_{பெரும}$ என்பவற்றை இட்டால்,

$$\frac{v_{பெருமம்}}{V} = 1{\cdot}43\sqrt{f} + 1 \tag{9·11}$$

இச் சமன்பாடு f-ஐமட்டும் சார்ந்திருக்கிறது. எனவே, குழாய் பாய்ச்சலில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பை மட்டுமின்றி திசைவேகப்

பகிர்வை அறிவதற்கும் f-ன் மதிப்பு அத்தியாவசியமாகும். இத் திசைவேகப் பகிர்விற்கும் ஆற்றலிழப்பிற்கும் நெருங்கிய தொடர்பு உண்டு.

9·5. குழாயில் ஏற்படும் கொந்தளிப்புப் பாய்ச்சல்களுக்கு தடைச் சமன்பாடுகள் (Resistance Equations for Turbulent Flow in Pipes)

f-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட பல அனுபவச் சமன்பாடுகள் (empirical equations) உள்ளன. ஆனால் இவற்றை குறிப்பிட்ட நிபந்தனைகளுக்குட்பட்டே பயன்படுத்தமுடியும். எனவே, சாத்திய மானல் கொள்கை அடிப்படையில் f-ன் மதிப்பை அடைவது சாலச் சிறந்ததாகும். குழாய் பாய்ச்சல் கொந்தளிப்பு நிலையிலிருக்கும் போது திசைவேகப் பகிர்வை விளக்கும் மடக்கைச் சமன்பாடு பரவலான ரெயினல்ஸ் எண்களுக்குப் பயன்படுமாதலால் தடைச் சமன்பாட்டை வருவிக்க அதைப் பயன்படுத்துவோம்.

சமன்பாடுகள் 9·5, 9·8-லிருந்து திசைவேகப் பகிர்வும் உராய்வுக் கெழுவும் எல்லைச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவைப் பொருத்தன எனத் தெரிகிறது. சமன்பாடு 9·8-ஐச் சமன்பாடு 9·5-ல் இட்டால்,

$$\frac{V}{V\sqrt{\frac{f}{8}}}=1{\cdot}75+5{\cdot}75\log_{10}\frac{V\sqrt{\frac{f}{8}}\,r_0}{\nu}$$

இதைச் சுருக்கினல்,

$$\frac{1}{\sqrt{f}}=2{\cdot}03\log_{10}\mathbf{R}\sqrt{f}-0{\cdot}91$$

சோதனைகளிலிருந்து கிடைத்த மாறிலிகளைப் பயன்படுத்தினல்,

$$\frac{1}{\sqrt{f}}=2\log_{10}\mathbf{R}\sqrt{f}-0{\cdot}8 \qquad (9{\cdot}12)$$

இந்தச் சமன்பாடு $\mathbf{R}>5\times10^{6}$-ஆக இருக்கும்போதே செல்லுபடியாகும். f என்பதை $\mathbf{R}$-ஐ மட்டும் சார்ந்தது என்பது நோக்கற்பாலது.

சொரசொரப்புக் குழாய்களுக்கான தடைச் சமன்பாட்டை அடைய சமன்பாடு 9·8-ஐச் சமன்பாடு 9·6-ல் இட்டால்,

$$\frac{1}{\sqrt{f}}=1{\cdot}68+2{\cdot}03\log_{10}\frac{r_0}{k}$$

இதிலுள்ள மாறிலிகளின் மதிப்புகளைச் சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் பலன்களுக்குப் பொருந்தும்படி மாற்றினால்,

$$\frac{1}{\sqrt{f}}=1{\cdot}74+2{\cdot}0\log_{10}\frac{r_0}{k} \qquad (9{\cdot}13)$$

இதிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட k-யின் மதிப்பிற்கு r_0 ஆரமுள்ள குழாயில் f-ன் மதிப்பு மாறிலியாகுமெனத் தெரிகிறது. எனவே, சொரசொரப்பான குழாய்களில் கொந்தளிப்புத் தன்மையானது எல்லைச் சொரசொரப்பை மட்டும் பொருத்தது; பாய்மத்தின் பாகுநிலையைப் பொருத்ததல்ல என்பது தெளிவு. ஆகையால் f ரெயினால்ஸ் எண்ணைச் சார்ந்ததல்ல.

மாதிரிக் கணக்கு 9·2. வழவழப்பான 300 மிமீ விட்டமுள்ள குழாயின் வழி நீரின் பாயுவீதம் 300 லி/வி. குழாயின் எந்த ஆரத்தில் திசைவேகமானது சராசரித் திசைவேகத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். குழாயின் மத்தியில் திசைவேகம் என்ன?

$D=0{\cdot}3$ மீ

$Q=0{\cdot}3$ மீ^{3}/வி

$$V=\frac{0{\cdot}3\times4}{\pi\times0{\cdot}3^2}=4{\cdot}25 \text{ மீ}^2/\text{வி}$$

நீரின் இயக்கப் பாகுநிலை $\nu=10^{-6}$ மீ^{2}/வி என எடுத்துக் கொண்டால்,

$$\mathbf{R}=\frac{VD}{\nu}=\frac{4{\cdot}25\times0{\cdot}3}{10^{-6}}=1{\cdot}28\times10^6$$

வழவழப்பான குழாய்களுக்கான உராய்வுக் கெழு சமன்பாடு 9·12-ல் கொடுக்கப்படுகிறது. எனவே,

$$\frac{1}{\sqrt{f}}=2\log_{10}(1{\cdot}28\times10^6\sqrt{f})-0{\cdot}8$$

(அ-து)
$$\frac{1}{\sqrt{f}}=2\log_{10}\sqrt{f}+11{\cdot}41$$

f-ற்காக தீர்த்தால்,

$$f=0{\cdot}011$$

எனவே, சறுக்குத் திசைவேகமானது,

$$v_*=V\sqrt{\frac{f}{8}}=4{\cdot}25\sqrt{\frac{0{\cdot}011}{8}}=0{\cdot}157 \text{ மீ/வி}$$

எந்த இடத்தில் திசைவேகமானது 4·25 மீ/வி ஆக-இருக்குமென கணக்கிட சமன்பாடு 9·3-ஐப் பயன்படுத்தினுல்,

$$\frac{4\cdot25}{0\cdot157}=5\cdot75\ \log_{10}\left(\frac{0\cdot157\times y}{10^{-6}}\right)+5\cdot5$$

தீர்த்தால், $y=0\cdot0372$ மீ

எனவே, $r=150-37\cdot2=112\cdot8$ மிமீ.

குழாயின் மத்தியில் திசைவேகமானது,

$$v_{\text{பெருமம்}}=0\cdot157\left[5\cdot75.\log_{10}\left(\frac{0\cdot157\times0\cdot15}{10^{-6}}\right)+5\cdot5\right]$$

$$=4\cdot81\text{ மீ/வி.}$$

9·6. உராய்வுக் கெழு

பரிமாணப் பகுப்பாய்வின் அடிப்படையில் மாதிரிக் கணக்கு 6·4-ல் D விட்டம், l நீளம், k சொரசொரப்பு, V சராசரித் திசைவேகம் உள்ள ஒரு சீரான குழாயில்

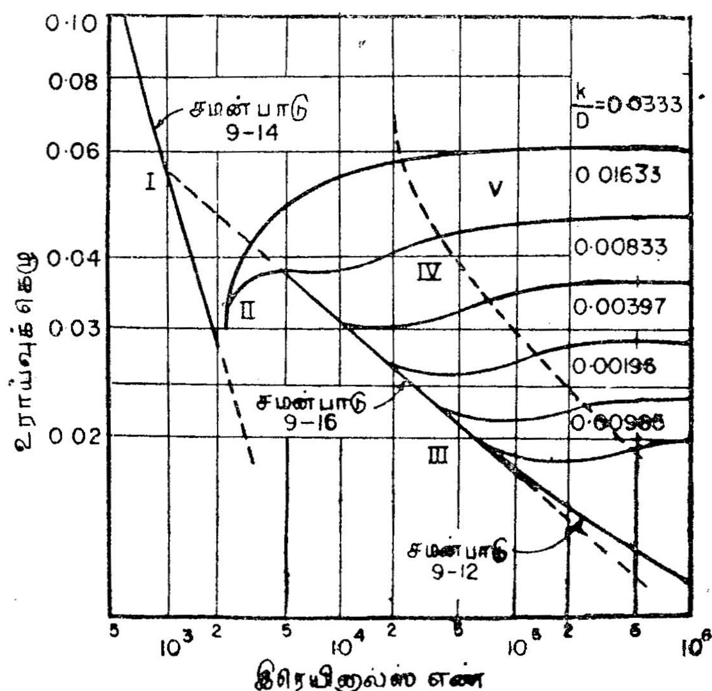
$$\frac{\Delta p}{\frac{\rho V^2}{2}}=\phi\left(\mathbf{R},\frac{k}{D},\frac{l}{D}\right)$$

எனக் காட்டப்பட்டது. இதில் **R** ரெயினுல்ஸ் எண்ணுகும். சோதனையிலிருந்து அழுத்த வேறுபாடு நேர்விகிதத்திலிருக்கிற தெனத் தெரிவதால்,

$$\frac{\Delta p\times D}{l\rho\frac{V^2}{2}}=\phi'\left(R,\frac{k}{D}\right)$$

இதில் இடது பக்கம் உராய்வுக் கெழு f-க்குச் சமமாகும். எனவே, உராய்வுக் கெழு ரெயினுல்ஸ் எண்ணையும் ஒப்புச் சொரசொரப்பு (relative roughness) $\frac{k}{D}$ -யையும் சார்ந்தது எனத் தெரிகிறது. $f,\frac{k}{D}$ **R** இவற்றிற்குள்ள தொடர்புகளை ஸ்டான்டென் (Stanton) என்ற ஆங்கிலேயர் 1914-ஆம் ஆண்டு பல சோதனைகளால் விளக்கினுர். பின்னர் நிகுராட்ஸே என்ற ஜெர்மானியப் பொறியாளர் அதே மாதிரியான தொடர்பை படம் 9·2-ல் உள்ளபடி கண்டறிந்தார். குழாயின் உட்புறத்தில் சீரான மணற்பொடியிலான, $\frac{k}{D}$ -யின் மதிப்பு 0·0333 முதல் 0·000985 வரையுள்ள சொரசொரப்பு களையுடைய குழாய்ப் பாய்ச்சலால் சோதனைகளிலிருந்து கிடைத்த

புள்ளி விபரங்களிலிருந்து படம் 9·2 வரையப்பட்டுள்ளது. நிகுராட்ஸே வழவழப்பான உட்புறங்களையுடைய குழாயில் சீரான விட்டம் k உள்ள மணற்பொடிகளை சீராகத் தூவி சோதனைகளை



படம் 9·2. வேறுபட்ட $\frac{k}{D}$-க்கு R-க்கும் f-க்குமுள்ள தொடர்பு

நடத்தினர். இந்தச் சொரசொரப்புகள் நடைமுறையில் குழாயிலுள்ள சொரசொரப்புகளை ஒத்து இல்லாவிட்டாலும் அறிவியல் அடிப்படையில் பல உண்மைகளைக் கண்டறிவதற்கு மிகவும் பயன்படுகின்றன. ஆனல் படம் 9·2-ஐப் பயன்படுத்திக் குழாய் அமைப்புகளை நிர்மாணிக்க முடியாது.

படம் 9·2-ன் உதவியால் குழாயில் ஏற்படும் பாய்ம இயக்கத்தை ஐந்து பகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம். இவைகள் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. **R**-ன் மதிப்பு 2000-க்கும் குறைவாக இருக்கும்போது பாய்ச்சல் படலநிலையில் இருக்கும்; f-க்கும் **R**-க்குமுள்ள தொடர்பு படத்திலுள்ளபடி நேர்கோடாக இருக்கும்.

இந்த நேர்கோட்டின் மதிப்பைச் சமன்பாடு 7·19 (அ)-வைச் சிறிது மாற்றியமைத்தால் கீழ்க்கண்டவாறு அடையலாம்.

$$h_f = \frac{32VL}{wD^2} \times \frac{2V\rho}{2V\rho} = \frac{64\mu L}{VD}\,\frac{V^2}{2gD}$$

$$\therefore\ f = \frac{64}{\mathbf{R}} \qquad (9{\cdot}14)$$

இதிலிருந்து படலநிலை ஓட்டங்களில் எல்லைச் சொரசொரப்பு பாய்ச்சலைப் பாதிக்கவில்லையெனத் தெரிகிறது. சமன்பாடு 9·14 சோதனைகளிலிருந்து கிடைக்கும் புள்ளி விபரங்களை ஒத்து இருக்கிறது.

இரண்டாவது பகுதியில் **R**-ன் மதிப்பு 2000-க்கும் 4000-க்கும் இடையில் இருக்கும். இங்கே பாய்ச்சல் படலநிலையிலிருந்து கொந்தளிப்புநிலைக்கு மாறுகிறது. இந்தப் பகுதி மிகக் குறுகியதாக இருப்பதாலும் பாய்ச்சல் நிலை மாறுபடும் நிலையில் இருப்பதாலும் இப்பகுதி அவ்வளவு முக்கியமானதல்ல. இந்தப் பகுதியிலும் எல்லைச் சொரசொரப்பு அவ்வளவாகப் பாய்ச்சலைப் பாதிப்பதில்லை.

R-ன் மதிப்பு 4000-ஐவிட அதிகமானல் பாய்ச்சல் கொந்தளிப்புநிலையை அடைகிறது. இப் பகுதியில் $\frac{k}{D}$-யின் மதிப்பு f-ஐப் பாதிக்க ஆரம்பிக்கிறது. கொந்தளிப்புநிலையிலுள்ள பாய்ச்சலைக் கீழ்க்கண்டவாறு மூன்று பகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம்.

1. **வழுவழுப்பான எல்லைப் பகுதி :** படம் 9·2-ல் இந்தப் பகுதி அடியிலுள்ள வளைகோட்டால் குறிக்கப்படுகிறது.

2. **மாறுபடும் பகுதி :** இந்தப் பகுதி படத்தில் IV எனக் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. இங்கே f-ன் மதிப்பு ரெயினல்ஸ் எண்ணையும், $\frac{k}{D}$-யையும் சார்ந்திருக்கும்.

3. **சொரசொரப்பு எல்லைப் பகுதி :** இந்தப் பகுதியில் உராய்வுக் கெழுவான f-ன் மதிப்பு $\frac{k}{D}$-யை மட்டும் சார்ந்திருக்கும்; **R**-ஐச் சார்ந்திராது. இப்பகுதி படத்தில் V எனக் குறிக்கப்பட்டுள்ளது.

இந்தக் கடைசி மூன்று பகுதிகளையும்பற்றி விரிவாகப் படிப்போம்.

பகுதி III வழவழப்பான குழாய்வழி பாயும் கொந்தளிப்பு நிலைப் பாய்ச்சலுக்கான வளைகோடாகும். அத்தியாயம் 8-ல் விளக்கியுள்ளபடி $\frac{v_* k}{\nu}$-வின் மதிப்பு 5-க்குக் குறைவாக இருக்குமானால் குழாயின் சுவர் வழவழப்புள்ளதாகக் கருதப்படும். இதைப் படம் 8·23-லிருந்து அறிகிறோம்.

இந்த நிபந்தனை படல உட்படலக் கனத்தை வரையறுக்கவும் பயன்படுகிறது. படம் 8·23 குழாய் ஓட்டங்களும் பொருந்துமாதலால் குழாய்களில் ஏற்படும் பாய்ச்சல்களுக்கு படல உட்படலக் கனமானது,

$$\delta' = \frac{5\nu}{v_*} = \frac{5\nu}{V\sqrt{\frac{f}{8}}} = \frac{5\sqrt{8}\,D}{R\sqrt{f}} \qquad (9{\cdot}15)$$

இதில் $k < \delta'$-ஆக இருக்குமானால் அந்த எல்லையை வழவழப்புள்ளதாகக் கருதலாம்.

வழவழப்பான குழாய்களில் நடத்திய பல சோதனைகளிலிருந்து பிளாஸியஸ் (Blasius) ரெயினால்ஸ் எண்ணின் மதிப்பு 4×10^3 முதல் 10^5 வரை இருக்கும்போது உராய்வுக் கெழுவை கீழ்க்கண்ட அனுபவச் சமன்பாட்டால் அடையலாம் எனக் கண்டறிந்தார்.

$$f = \frac{0{\cdot}316}{R^{\frac{1}{4}}} \qquad (9{\cdot}16)$$

இந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து குழாய் ஓட்டத்தில் ஏற்படும் திசைவேகப் பகிர்வை வருவிக்கலாம். சமன்பாடு 9·8-லிருந்து f-க்கான மதிப்பைச் சமன்பாடு 9·16-ல் இட்டால்,

$$\frac{V}{v_*} = 6{\cdot}99\left(\frac{v_* r_0}{\nu}\right)^{\frac{1}{7}}$$

சோதனைகளிலிருந்து ரெயினால்ஸ் எண் 4000-க்கும் 10^5-க்கும் இடையிலிருக்கும்போது குழாய் ஓட்டங்களில் $\frac{v_{\text{பெருமம்}}}{V}$ என்ற விகிதத்தின் மதிப்பு ஏறத்தாழ 0·8-ஆக இருக்குமெனத் தெரிகிறது. எனவே,

$$\frac{v_{\text{பெருமம்}}}{v_*} = 8{\cdot}74\left(\frac{v_* r_0}{\nu}\right)^{\frac{1}{7}}$$

ஒப்புமைத் தத்துவத்தின் அடிப்படையில் குழாயின் மத்திக்கு வருவிக்கப்பட்ட திசைவேகத்தை குழாயின் எந்தப் பகுதிக்கும் கையாளலாமாதலால்,

$$\frac{v}{v_*} = 8{\cdot}74\left(\frac{v_* y}{\nu}\right)^{\frac{1}{7}} \qquad (9{\cdot}17)$$

இதிலிருந்து தட்டைத் தகட்டிற்கு பயன்படுத்தப்பட்ட ஏழில்-ஒன்று அடுக்குக்குறி விதி(one-seventh power law)-யை அடையலாம்.

$$\frac{v}{v_*} = \left(\frac{y}{r}\right)^{\frac{1}{7}} \qquad (9{\cdot}18)$$

R-ன் மதிப்பு 10^5-க்கு அதிகமாகும்போது சமன்பாடுகள் 9·16, 9·18 முதலியவை பொருந்தா. பகுதி III-ல் R-ன் மதிப்பு 10^5-க்கு அதிகமாகும்போது திசைவேகப் பகிர்வு மடக்கை விதியைப் பூர்த்தி செய்கிறது. எனவே, திசைவேகப் பகிர்வு சமன்பாடு 9·3-ஆலும் உராய்வுக் கெழு சமன்பாடு 9·12-ஆலும் கொடுக்கப்படுகிறது. இது படம் 9·2-ன் அடியிலுள்ள வளைகோட்டைக் குறிக்கும்.

வழவழப்பான குழாய்களின் ரெயினுல்ஸ் எண் அதிகரிக்க அதிகரிக்க f-ன் மதிப்பு ஈற்றணுகியாக x-அச்சை $f=0$ என்ற மதிப்பிற்கு அணுகுகிறது என்பது படம் 9·2-லிருந்து தெரிகிறது.

உட்படு சமன்பாடான (implicit equation) 9·12-ன் தீர்வை எளிதில் காணமுடியாது. ஆகவே, கீழ்க்கண்ட அனுபவச் சமன்பாட்டை R-ன் மதிப்பு 6×10^4-க்கு அதிகமாக இருக்கும்போது பயன்படுத்தி f-ன் மதிப்பை அடையலாம்.

$$f = 0{\cdot}0032 + \frac{0{\cdot}221}{\mathrm{R}^{0{\cdot}237}} \qquad (9{\cdot}19)$$

படம் 9·2-ல் குறிக்கப்பட்டுள்ள பகுதி IV குழாயானது வழவழப்பான நிலையிலிருந்து சொரசொரப்பான நிலைக்கு மாறுவதைக் குறிக்கிறது. நிகுராட்ஸேயின் சோதனைகளிலிருந்து சொரசொரப்பு தன்மைக்குக் காரணமான முளைகளின் (protrusions) சராசரி உயரமான k-யைவிட ஒப்புச் சொரசொரப்பான $\frac{k}{D}$ தான் முக்கியம் எனத் தெரிகிறது. $\frac{v_* k}{\nu}$-ன் மதிப்பு 5-க்குக் குறைவாக இருக்கும் வரை எல்லையானது வழவழப்புத் தன்மையுள்ளதாக இருக்கிறது. படல உட்படலமானது சொரசொரப்பு

உயரமான k-யை முழுவதும் தன்னுள் மூழ்கியிருக்கும்படி செய்வதால் சொரசொரப்பு முனையால் ஏற்படும் உலைவு (disturbance) முக்கிய பாய்ச்சலுக்குப் பரவுவதில்லை. உலைவால் ஏற்படும் கொந்தளிப்பு பாகுநிலையால் அழிந்து மறைகிறது. ஆனால் R-ன் மதிப்பு அதிகமாகும்போது, படல உட்படலக் கனம் குறைகிறது. எனவே, சொரசொரப்பு முனைகளின் விளைவுகள் முக்கிய பாய்ச்சலைப் பாதிக்கிறது. ஆகவே, ஒரு குழாயானது சொரசொரப்பானதா அல்லது வழவழப்பானதா என்பது R-ன் மதிப்பைப் பொருத்தது. $\frac{v_* k}{\nu}$-ன் மதிப்பு 5-க்கும் 70-க்கும் இடையில் இருக்கும்போது உராய்வுக் கெழு f-ன் மதிப்பு ஒப்புச் சொரசொரப்பான $\frac{k}{D}$-யையும் ரெயினல்ஸ் எண்ணான R-ஐயும் பொருத்தது. அடியிலுள்ள வளைகோட்டிற்கும் புள்ளிக் கோட்டிற்கும் இடையிலுள்ள இந்தப் பகுதி படம் 9·2-ல் IV எனக் குறிக்கப்பட்டிருக்கிறது.

$\frac{v_* k}{\nu}$-ன் மதிப்பு 70-க்கு அதிகமாக இருக்கும்படி R-ன் மதிப்பு உயர்வாக இருக்குமானால் திசைவேகப் பகிர்வானது ஒப்புச் சொரசொரப்பை மட்டும் சார்ந்திருக்கும்; R-ன் மதிப்பைச் சார்ந்திராது. படம் 9·2-ல் உள்ளபடி ஒவ்வொரு $\frac{k}{D}$-ன் மதிப்பிற்கும் ஒரு தனி வளை கோடு வழவழப்பான குழாய்களுக்கான பகுதி III-ன் வளை கோட்டிலிருந்து ஆரம்பித்து x-அச்சிற்கு இணையாகச் செல்லும். $\frac{k}{D}$-ன் மதிப்பு அதிகமாக உள்ள குழாய்களுக்கான வளைகோடு பகுதி III-ன் வளைகோட்டிலிருந்து R-ன் மதிப்பு குறைவாக இருக்கும்போதே பிரிந்து செல்கிறது. இந்தத் தொடர் கோடுகளைச் சமன்பாடு 9·13 குறிக்கும். இந்தப் பாகம் V என குறிக்கப்பட்டுள்ளது.

மாதிரிக் கணக்கு 9·3. வழவழப்பான 500 மிமீ விட்டம், 1000 மீ நீளக் குழாயில் நீரின் பாயுவீதம் 50 லி/வி. நீரின் இயக்கப் பாகுநிலை 2 சென்டிஸ்டோக்ஸ். ஆற்றலிழப்பு உயரம், எல்லைச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு, குழாயின் மத்தியில் திசைவேகம், படல உட்படலக் கனம் முதலியவற்றைக் கணக்கிடு.

$D = 0{\cdot}5$ மீ $\qquad h_f = ?$

$l = 1000$ மீ $\qquad v_{\text{பெருமம்}} = ?$

$Q=0{\cdot}05$ மீ^{3}/வி $\tau_\circ=?$

$\nu=2$ செ.ஸ் $=2\times10^{-6}$ மீ^{2}/வி $\delta'=?$

$$V=\frac{0{\cdot}05\times4}{\pi\times0{\cdot}5^2}=0{\cdot}254 \text{ மீ/வி}$$

$$\mathbf{R}=\frac{0{\cdot}254\times0{\cdot}5}{2\times10^{-6}}=6{\cdot}35\times10^4$$

எனவே, பாய்ச்சல் கொந்தளிப்பு நிலையுடையது. சமன்பாடு 9·16-லிருந்து,

$$f=\frac{0{\cdot}316}{\mathbf{R}^{1/4}}=\frac{0{\cdot}316}{(6{\cdot}35\times10^4)^{1/4}}$$

$$=0{\cdot}0198$$

ஆற்றலிழப்பு உயரம் $h_f=\dfrac{flV^2}{2gD}$

$$=\frac{0{\cdot}0198\times1000\times0{\cdot}254^2}{2\times9{\cdot}81\times0{\cdot}5}$$

$$=0{\cdot}13 \text{ மீ}$$

இப்போது

$$\tau_\circ=\frac{\rho V^2 f}{8}=\frac{1000\times0{\cdot}254\times0{\cdot}0198}{8}$$

$$=0{\cdot}16 \text{ நி/மீ}^2$$

$$\therefore\quad v_*=\sqrt{\frac{\tau_\circ}{\rho}}=\sqrt{\frac{0{\cdot}16}{1000}}=0{\cdot}0126 \text{ மீ/வி}$$

சமன்பாடு 9·3-ஐப் பயன்படுத்தி குழாயின் மத்தியில் திசைவேகத்தை அடையலாம்.

$$v_{\text{பெருமம்}}=0{\cdot}0126\left[5{\cdot}75\log_{10}\left(\frac{0{\cdot}0126\times0{\cdot}25}{2\times10^{-6}}\right)+5{\cdot}5\right]$$

படல உட்படலக் கனம் $\delta'=\dfrac{5\nu}{v_*}$

$$=\frac{5\times2\times10^{-6}}{0{\cdot}0126}=7{\cdot}94\times10^{-4}\text{ மீ}$$

$$=0{\cdot}794 \text{ மிமீ.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 9·4. மாதிரிக் கணக்கு 9·3-ல் பாயுவீதம் 500 லி/வி-ஆக இருக்கும்போது $k=0{\cdot}01$ மிமீ ஆனல், எல்லைச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு குழாயின் மத்தியில் சுவற்றிலிருந்து 100 மிமீ தூரத்தில் திசைவேகம், உராய்வுக் கெழு முதலியவற்றைக் கணக்கிடு.

$D=500$ மிமீ $=0{\cdot}5$ மீ $\quad f=?$

$h=0{\cdot}01$ மிமீ $\quad \tau_0=?$

$Q=500$ லி/வி $=0{\cdot}5$ மீ^{3}/வி $\quad v_{\text{பெருமம்}}=?$

$v_{100\text{ மிமீ}}=?$

இப்போது

$$V=\frac{0{\cdot}5\times4}{\pi\times0{\cdot}5^2}=2{\cdot}54 \text{ மீ/வி}$$

$$\mathbf{R}=\frac{VD}{\nu}=\frac{2{\cdot}54\times0{\cdot}5}{2\times10^{-6}}=6{\cdot}35\times10^5$$

இந்த ரெயினல்ஸ் எண்ணின் மதிப்பிற்கு f ஆனது சமன்பாடு 9·13-ல் கொடுக்கப்படுகிறது.

$$\frac{1}{\sqrt{f}}=2\log_{10}\frac{250}{0{\cdot}01}+1{\cdot}74$$

தீர்த்தால்,

$$f=0{\cdot}00895$$

$$\text{எல்லைச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு } \tau_0=\frac{\rho V^2 f}{8}$$

$$=\frac{1000\times2{\cdot}54^2\times0{\cdot}00895}{8}$$

$$=7{\cdot}2 \text{ நி/மீ}^2 \ (0{\cdot}735 \text{ கிகி/மீ}^2)$$

$$\text{சறுக்குத் திசைவேகம் } v_*=\sqrt{\frac{\tau^\circ}{\rho}}=\sqrt{\frac{7{\cdot}2}{1000}}=0{\cdot}0846 \text{ மீ/வி}$$

குழாயின் மத்தியில் திசைவேகத்தைக் கணக்கிட சமன்பாடு 9·4-ஐப் பயன்படுத்தினல்,

$$v_{\text{பெருமம்}}=0{\cdot}0846\left[5{\cdot}75\log_{10}\frac{250}{0{\cdot}01}+8{\cdot}5\right]$$

$$=2{\cdot}85 \text{ மீ/வி}$$

$y=100$ மிமீ தூரத்தில்,

$$v=0{\cdot}0846\left[5{\cdot}75\log_{10}\frac{100}{0{\cdot}01}+8{\cdot}5\right]$$

$$=2{\cdot}67 \text{ மீ/வி}$$

மாதிரிக் கணக்கு 9·5. 300 மிமீ விட்டக் குழாய் 20°C வெப்ப நிலையில் பெட்ரோலை 200 லி/வி பாயுவீதத்தில் கடத்துகிறது. அந்தக் குழாய் வழவழப்புள்ளதாக இருப்பதற்குச் சொரசொரப்பு முனையின் பெரும உயரம் என்ன? எந்த அளவு குறைந்த சொர சொரப்பு முனை உயரம் குழாயின் ஓட்டத்தைக் கொந்தளிப்புத் தன்மைத்தாக ஆக்கும்?

$D = 300$ மிமீ

$Q = 0{\cdot}2$ மீ^{3}/வி

$\nu = 6\times10^{-3}$ செமீ^{2}/வி $= 6\times10^{-7}$ மீ^{2}/வி

$k_{\text{பெருமம்}} = ?$

$k_{\text{சிறுமம்}} = ?$

$$V = \frac{0{\cdot}2\times4}{\pi\times0{\cdot}3^2} = 2{\cdot}83 \text{ மீ/வி}$$

$$\mathbf{R} = \frac{2{\cdot}83\times0{\cdot}3}{6\times10^{-7}} = 1{\cdot}42\times10^6$$

இந்த அளவு ரெயினல்ஸ் எண்ணிற்கு வழவழப்பான குழாய்களில் உராய்வுக் கெழுவின் மதிப்பு சமன்பாடு 9·12-ஆல் கொடுக்கப் படுகிறது.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2\log_{10}(1{\cdot}42\times10^6\sqrt{f}) - 0{\cdot}8$$

(அ-து) $$\frac{1}{\sqrt{f}} = 11{\cdot}50 + 2\log_{10}\sqrt{f}$$

தீர்த்தால்,

$$f = 0{\cdot}011$$

சறுக்குத் திசைவேகம் $v_* = V\sqrt{\frac{f}{8}} = 2{\cdot}83\sqrt{\frac{0{\cdot}011}{8}}$

$$= 0{\cdot}104 \text{ மீ/வி}$$

குழாயானது வழவழப்பாக இருக்க k-யின் பெரும மதிப்பு,

$$k = \frac{5\nu}{v_*} = \frac{5\times6\times10^{-7}}{0{\cdot}104} = 2{\cdot}88\times10^{-5} \text{ மீ}$$

$$= 0{\cdot}0288 \text{ மிமீ}$$

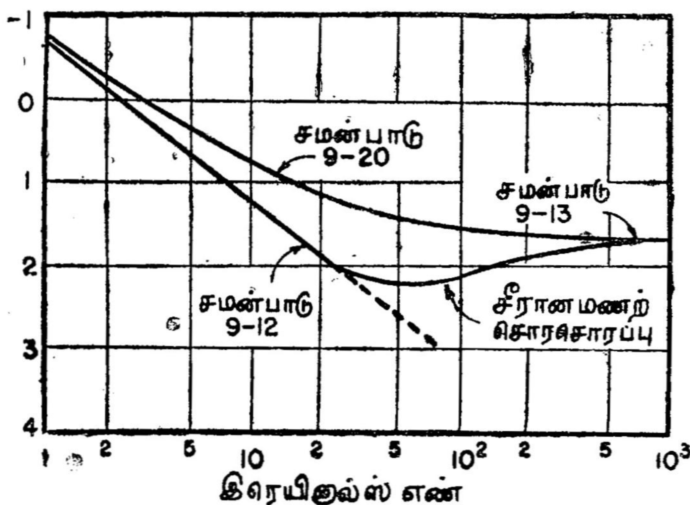
குழாயானது சொர சொரப்புள்ளதாக இருக்க k-யின் சிறும மதிப்பு,

$$k = \frac{70\nu}{v_*} = \frac{70\times6\times10^{-7}}{0{\cdot}104}$$

$$= 0{\cdot}403 \text{ மிமீ.}$$

9·7. வாணிகக் குழாய்களில் உராய்வுக் கெழு (Friction Factor in Commercial Pipes)

சீரான மணற்பொடிகள் ஒரே படித்தாகப் பரப்பப்பட்டு அதனுல் ஏற்படும் சொரசொரப்பான குழாய்களில் சோதனை நடத்தி, அதிலிருந்து கிடைத்த புள்ளி விபரங்களின் அடிப்படையில் வருவிக்கப்பட்ட சமன்பாடுகளேயும், செய்யப்பட்ட பாகுபாடு களேயும்பற்றி முன் பகுதிகளில் படித்தோம். ஆனுல் நடை முறையில் பயன்படுத்தப்படும் குழாய்களில் சொரசொரப்பு ஒரே படித்தரமாக இராது. எனவே, முன்னர் வருவிக்கப்பட்ட சமன் பாடுகளும் பாகுபாடுகளும் நடைமுறையில் பொருந்தா. சமீப காலத்தில் நடத்தப்பட்ட சோதனைகளிலிருந்து சொரசொரப்பு முனேகளுக்கிடையேயுள்ள தூரம், உருவ அமைப்பு முதலியவையும் f-ன் மதிப்பையும் ஆற்றலிழப்பையும் பாதிக்கின்றன எனத் தெரிகிறது. எனவே, வாணிபத் துறையில் பயன்படுத்தப்படும் குழாய்களுக்கான f-ன் மதிப்பை அறிய அக்குழாய்களேக் கொண்டு சோதனைகள் நடத்தி அறியவேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. அவ்வாறு அடைந்த f-ன் மதிப்பைச் சமன்பாடு 9·13-ல் இட்டால் $\frac{k}{D}$-யின் மதிப்பு கிடைக்கும். இவ்வாறு சோதனைகளிலிருந்தும்,



படம் 9·3. வாணிகக் குழாய்களில் தொடர்புகள்

சமன்பாடு 9·13-லிருந்தும் அடைந்த புள்ளிவிபரங்களேக் கொண்டு கூல்புரூக், ஒயிட் (Colebrook, White) என்ற இரண்டு ஆங்கிலேயப்

பொறியாளர்களும் மாறுபடும் நிலையில் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டை அடைந்தார்கள். (படம் 9·3.)

$$\frac{1}{\sqrt{f}}-2\cdot0\ \log_{10}\frac{r_o}{k}=1\cdot74-2\cdot0\ \log_{10}\left(1+18\cdot7\ \frac{\frac{r_o}{k}}{\mathbf{R}\sqrt{f}}\right) \quad (9\cdot20)$$

சமன்பாடு 9·20 நடைமுறைப் பயனுக்கு வசதியாக இல்லை. எனவே, சமன்பாடுகள் 9·12, 9·13, 9·20 முதலியவற்றிலிருந்து மூடி என்பவர் படம் 9·4-ஐ உருவாக்கினார். இந்தப் படம் சீரான பாய்மக் கடத்திகளில் உண்டாகும் நிலையான ஓட்டங்களுக்கான உராய்வுக் கெழுவைத் தரும். பலதரப்பட்ட பொருள்களுக்கு k-யின் மதிப்பு அட்டவணை 9·1-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

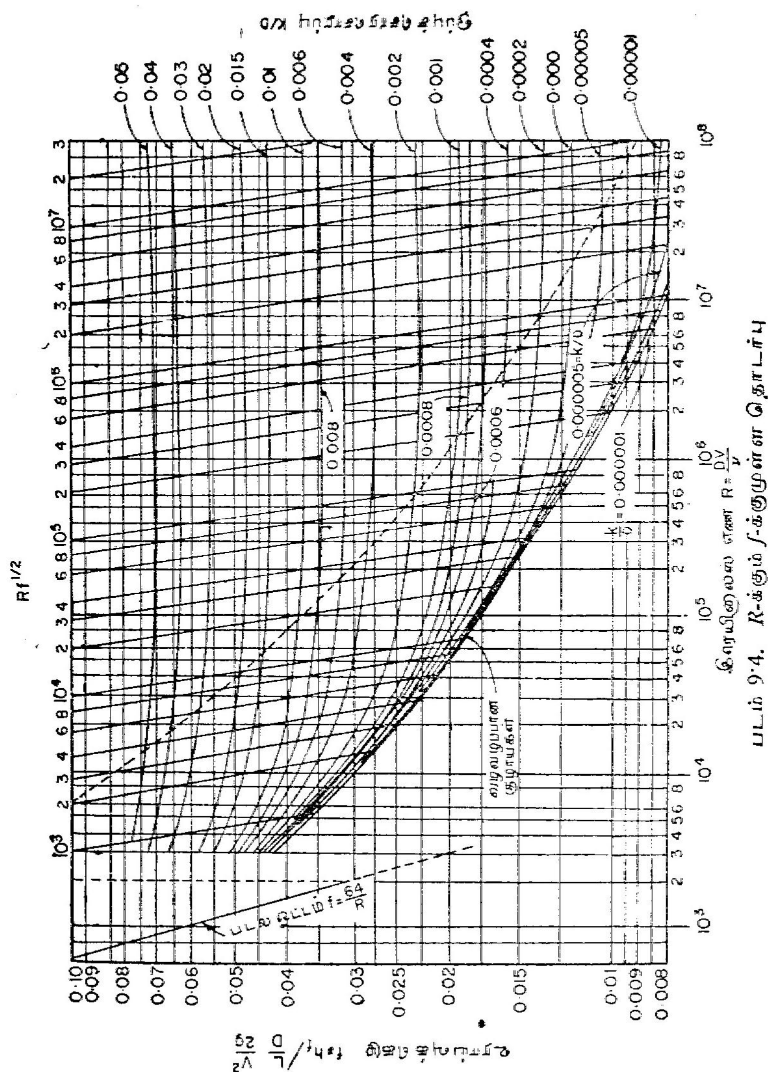
அட்டவணை 9·1

குழாயின் பொருள்	k (மிமீ-ல்)
கண்ணாடி, பிளாஸ்டிக்	வழவழப்பானது
பொருத்தல் இல்லாத குழாய்	0·00015
தேனிரும்பு, எஃகு	0·045
வார்ப்பிரும்பு, தாரால்	
பூசப்பட்டது	0·12
துத்தநாகம் பூசப்பட்ட எஃகு	
புதியது	0·15
பழையது	0·27
வார்ப்பிரும்பு	0·265
மரப்பலகை அமைப்பு	18×10^{-2} முதல் 9×10^{-2}
கான்கிரீட்	0·3 முதல் 3 வரை
ரிவட் அடிக்கப்பட்ட எஃகு	0·9 முதல் 9 வரை

R-ன் மதிப்பு 4×10^{3}-க்கும் 10^{7}-க்கும் இடையிலும் $\frac{k}{D}$-யின் மதிப்பு 0·01 வரைக்கும் இருக்கும் நிலைகளுக்கு மூடி (Moody) கீழ்க் கண்ட அனுபவச் சமன்பாட்டையும் கண்டறிந்தார்.

$$f=0\cdot001375\left[1+\left(20000\ \frac{k}{D}+\frac{10^{6}}{\mathbf{R}}\right)^{\frac{1}{3}}\right]$$

எல்லையிலுள்ள சொரசொரப்பு முனைகளின் அளவு காலத்தால் அதிகரிக்கும். இந்த அதிகரிப்பு முதல் சில ஆண்டுகளில் அதிகமாக



படம் 9·4. R-க்கும் f-க்குமுள்ள தொடர்பு

வும், பின்னர் படிப்படியாகக் குறைந்து, பல ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு எவ்வித அதிகரிப்பும் இல்லாமல் இருக்கும்.

மாதிரிக் கணக்கு 9·6. வார்பிரும்பாலான 0·5 மீ விட்டக் குழாயில் 10 ஆண்டுகளில் 250 லிட்டர்/வி தண்ணீரைக் கடத்த 25% திறன் அதிகமாகத் தேவைப்படுகிறது. குழாயில் சொர சொரப்பானது என்ன வீதத்தில் அதிகரித்துள்ளது ?

$D = 0{\cdot}5$ மீ

$Q = 0{\cdot}25$ மீ^{3}/வி

நீரின் இயக்கப் பாகுநிலை $= 2 \times 10^{-6}$ மீ^{2}/வி என எடுத்துக் கொள்ளவும். அந்தக் குழாயின் வழி பாயும் நீரின் வீதத்தில் மாற்றம் இல்லாததால் அதிகப்படியான திறனனது உராய்வால் ஏற்படும் அதிகப்படியான இழப்பால் ஏற்படும். இப்போது

$$V = \frac{0{\cdot}25 \times 4}{\pi \times 0{\cdot}5^2} = 1{\cdot}27 \text{ மீ/வி}$$

$$R = \frac{1{\cdot}27 \times 0{\cdot}5}{2 \times 10^{-6}} = 3{\cdot}18 \times 10^5$$

அட்டவணை 9·1-லிருந்து புதிய வார்ப்பிரும்பிற்கு $k = 0{\cdot}265$ மிமீ ஆகும் எனத் தெரிகிறது. ஆகவே,

$$\text{ஒப்புச் சொரசொரப்பு, } \frac{k}{D} = \frac{0{\cdot}265}{50} = 0{\cdot}00053$$

மூடி வரைபடத்திலிருந்து, $\frac{k}{D} = 0{\cdot}00053$, $R = 3{\cdot}18 \times 10^5$-ஆக இருக்கும்போது $f_0 = 0{\cdot}018$ ஆகும்.

$$10 \text{ ஆண்டுகள் கழித்து } f_{10} = 0{\cdot}018 \times 1{\cdot}25$$
$$= 0{\cdot}0225$$

இந்தப் புதிய உராய்வுக் கெழுவிற்கு $R = 3{\cdot}18 \times 10^5$-ஆக இருக்கும் போது ஒப்புச் சொரசொரப்பானது மூடி வரைபடத்திலிருந்து

$$\frac{k}{D} = 0{\cdot}0015$$

ஆகவே, $k = 0{\cdot}0015 \times 500 = 0{\cdot}75$ மிமீ.

$$\text{அதிகரிப்புவீதம்} = \frac{0{\cdot}75 - 0{\cdot}265}{10}$$
$$= 0{\cdot}0485 \text{ மிமீ/ஆண்டு}$$

குழாய் சம்பந்தமான கணக்குகளைக் கீழ்க்கண்டவாறு மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கலாம்.

(1) Q, l, D, ν, k, முதலியவற்றைக் கொடுத்து h_f-ன் மதிப்பைக் கணக்கிடுதல்.

(2) h_f, l, D, ν, k முதலியவற்றைக் கொடுத்து Q-ஐக் கணக்கிடுதல்.

(3) h_f, Q, l, ν, k முதலியவற்றைக் கொடுத்து குழாயின் விட்டமான D-ஐத் தீர்மானித்தல்.

இவற்றில் முதல் வகைக் கணக்குகளை மாதிரிக் கணக்கு 9·1-ல் உள்ளபடி எளிதில் மூடி வரைபடத்தின் உதவியால் அடையலாம். படம் 9·4-ல் f-க்கும் $Rf^{\frac{1}{2}}$-க்குமுள்ள தொடர்பு கொடுக்கப் பட்டுள்ளதால் மாதிரிக் கணக்கு 9·7-ல் உள்ளபடி இரண்டாவது வகைக் கணக்குகளுக்கும் விடை காணலாம். எவ்வாறு மூன்றாவது வகைக் கணக்கிற்கு விடை காணவேண்டுமென்பதை மாதிரிக் கணக்கு 9·8-லிருந்து அறிந்து கொள்ளலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 9·7. ஒரு அழுத்தத் தொட்டியிலிருந்து (pressure tank) 20°C வெப்பநிலையிலுள்ள நீரானது 20 மிமீ விட்டம், 500 மீ நீளமுள்ள குழாய் வழியாகப் பாய்கிறது. அந்த அழுத்தத் தொட்டியில் அழுத்தம் 2 கிகிஎ/செமீ² (196·2 கிநி/மீ²)-ஆக இருக்கும்போது குழாயில் நீரின் பாயுவீதத்தைக் காண். வெளியேறு திசைவேகத்தின் தலைப்பை (exit velocity head) புறக்கணிக்கவும்.

$l = 500$ மீ

$D = 0{\cdot}02$ மீ

$k = 0{\cdot}15$ மிமீ (அட்டவணை 9·1-லிருந்து)

$h_f = 20$ மீ

$Q = ?$

$\nu = 10^{-6}$ மீ²/வி

இப்போது,

$$\frac{k}{D} = \frac{0{\cdot}015}{20} = 0{\cdot}0075$$

$$Rf^{\frac{1}{2}} = \frac{D^{\frac{3}{2}}}{\nu}\left[\frac{2gh_f}{l}\right]^{\frac{1}{2}} = \frac{0{\cdot}02^{\frac{3}{2}}}{10^{-6}}\left[\frac{2\times 9{\cdot}81\times 20}{500}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$= 2{\cdot}48\times 10^{3}$$

மூடி வரைபடத்திலிருந்து $Rf^{\frac{1}{2}} = 2{\cdot}48 \times 10^3$, $\frac{k}{D} = 0{\cdot}0075$-ஆக இருக்கும்போது,

$$f = 0{\cdot}04$$

சமன்பாடு 9·2-ஐப் பயன்படுத்தி,

$$h_f = \frac{flV^2}{2gD}$$

$$20 = \frac{0{\cdot}04 \times 500 \times V^2}{2 \times 9{\cdot}81 \times 0{\cdot}02}$$

$$\therefore V = 0{\cdot}625 \text{ மீ/வி}$$

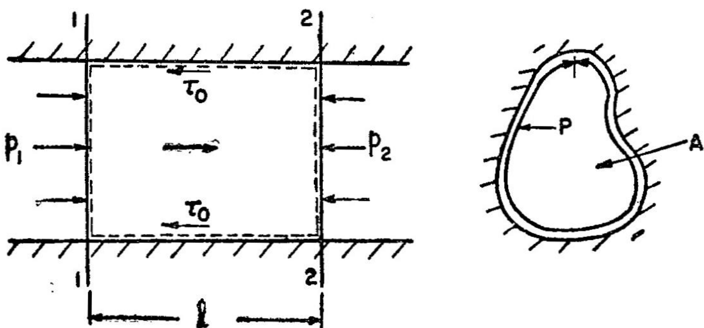
ஆதலால்,

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \times V = \frac{\pi \times 0{\cdot}02^2}{4} \times 0{\cdot}625 = 1{\cdot}97 \times 10^{-4} \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

$$= 19{\cdot}7 \text{ லிட்டர்/வி.}$$

9·8. வட்டமற்ற குழாய்களில் கொந்தளிப்பு ஓட்டம்

ஒரு வட்டமற்ற குழாயில் படம் 9·5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி நிலையான, முழுவதும் முதிர்ச்சியடைந்த, கொந்தளிப்புப் பாய்ச்சல் l நீளமுள்ள ஆட்சி பருமனில் நிகழும்போது அதில் தொழிற்படும் புற விசைகளை எடுத்துக்கொண்டால்,



படம் 9·5. வட்டமற்ற குழாய் ஆட்சிபருமனில் புறவிசைகள்

$$(p_1 - p_2)\, A = \tau_0 P l$$

இதில் τ_0 என்பது எல்லைச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவையும், p ஈரச் சுற்றளவையும் குறிக்கும். இப்போது சமன்பாடு

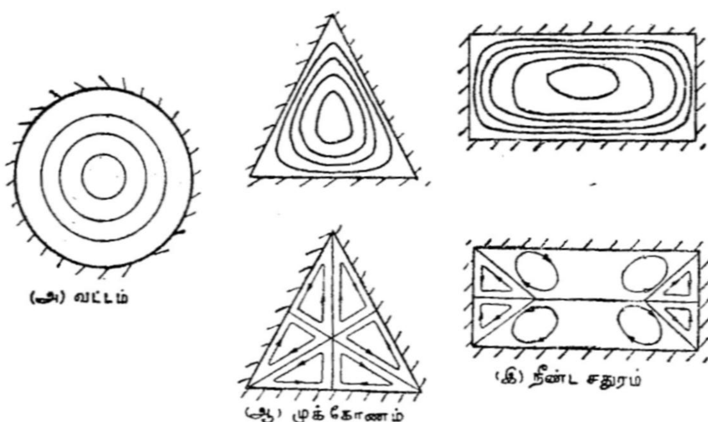
$\tau_0 = \frac{f}{4} \rho \frac{V^2}{2}$ என்பதைப் பயன்படுத்தி, w-ஆல் வகுத்தால்,

$$h_f = \frac{p_1 - p_2}{w} = \frac{l}{4R} \frac{V^2}{2g} \tag{9·22}$$

இதில் R என்பது நீரியலாரமாகும். வட்டக் குழாயில் $R = \frac{D}{4}$-ஆக இருக்குமாதலால் சமன்பாடு 9·22, வட்டக் குழாய்க்கு சமன்பாடு 9·2-ஆக மாறுபடும். வட்டமற்ற குழாய்களுக்கு கீழ்க்கண்ட ரெயினல்ஸ், ஒப்புச் சொரசொரப்புகளை முறையே பயன்படுத்தினல் முன்னர் வட்ட குழாய்களுக்காக வருவிக்கப்பட்ட பல சமன்பாடுகளையும், படம் 9·4-ஐயும் பயன்படுத்தலாம் எனச் சோதனைகளிலிருந்து தெரிகிறது.

$$\text{ரெயினல்ஸ் எண்} = \frac{4VR}{\nu}, \quad \frac{k}{D} = \frac{k}{4R} \tag{9·23}$$

வட்டக் குழாய்களில் எல்லைச் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு எல்லாப் பகுதிகளிலும் சமமாக இருக்கும். சம திசைவேக மதிப்புள்ள கோடுகள் படம் 9·6 (அ)-ல் உள்ளபடி வட்டங்களாக



படம் 9·6. திசைவேகப் பகிர்வும் இரண்டாந்தர ஓட்டமும்

இருக்கும். ஆனல் நீண்ட சதுர, முக்கோண வடிவமுள்ள பாய்மக் கடத்திகளில் திசைவேகச் சரிவு அதன் பக்கங்களின் நடுவின் அதிகமாகவும் ஓரங்களில் குறைவாகவும் படம் 9·6(ஆ), 9·6(இ)

முதலியவற்றிலுள்ளபடி இருக்கும். இதனால் உராய்வு பற்றிய சமன்பாடுகளிலுள்ள மாறிலிகளின் மதிப்பு கீழ்க்கண்டவாறு சிறிது வேறுபடும்.

இருபரிமாண அகலமான நீண்ட சதுரங்களில் $\mathbf{R}\left(=\frac{2VB}{\nu}\right)$-ன் மதிப்பு 5×10^4 முதல் $2{\cdot}5\times10^5$ வரை இருக்கும்போது

$$\frac{v}{v_*}=5{\cdot}5+6{\cdot}9\log_{10}\frac{v_*y}{\nu} \tag{9·24}$$

ஆகும். இதில் B என்பது இரு தளங்களுக்கிடையே உள்ள தூரமாகும். வழவழப்பான, சொரசொரப்பான எல்லைகளையுடைய பாய்மக் கடத்திகளுக்கு தடைச் சமன்பாடுகள் முறையே

$$\frac{1}{\sqrt{f}}=2{\cdot}03\log_{10}\left(\frac{2BV}{\nu}\sqrt{f}\right)-0{\cdot}47 \tag{9·25}$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}}=2{\cdot}03\log_{10}\frac{\frac{B}{2}}{k}+2{\cdot}11 \tag{9·26}$$

மேலே உள்ள சமன்பாடுகளில் B-க்குப் பதில் கால்வாய்களின் இருமடங்கு ஆழமான $2y$-யின் மதிப்பை இட்டால் அவற்றை கால்வாய் ஓட்டங்களுக்கும் பயன்படுத்தலாம் எனச் சோதனைகள் மூலம் அறிகிறோம்.

மாதிரிக் கணக்கு 9·8. ஒரு குளிர் சாதனத்திலிருந்து (air conditioner) 10°C வெப்பநிலையில் காற்றை 300 மீ தூரத்திலுள்ள ஒரு கட்டடத்திற்கு கடத்திச் செல்ல வேண்டியதிருக்கிறது. குளிர் பதனச் சாதனத்தருகில் மானி அழுத்தம் 0·07 கிகிஎ/செமீ^{2}; காற்று வெளிவரும் இடத்தில் மானி அழுத்தம் 0·007 கிகிஎ/செமீ^{2}. துத்தநாகத் தகடுகளாலான சதுரப் பாய்மக் கடத்தி பயன்படுத்தப் பட்டால், அதன் அளவைக் கணக்கிடு. $k=0{\cdot}0015$ மிமீ.

இந்தக் கணக்கு மூன்றாவது வகையைச் சார்ந்தது. இதற்கு முயன்று-தவறல் (trial and error) என்ற அடிப்படையில் விடை காண வேண்டும்.

$w=1{\cdot}25$ கிகிஎ/மீ^{3}

$\nu=0{\cdot}145$ செமீ^{2}/வி $=1{\cdot}45\times10^{-5}$ மீ^{2}/வி

$l=300$ மீ

$Q=0{\cdot}3$ மீ^{3}/வி

பாய்ச்சலை ஏற்படுத்த, கிடைக்கும் அழுத்த வேறுபாடு,

$$(0{\cdot}07-0{\cdot}007)=0{\cdot}063 \text{ கிகிள}/\text{செமீ}^2$$
$$=630 \text{ கிகிள}/\text{மீ}^2$$

முதலில் 0·2 மீ × 0·2 மீ சதுர பாய்மக் கடத்தியை முயலுவோம்.

$$\text{நீரியலாரம் } R=\frac{0{\cdot}2\times 0{\cdot}2}{4\times 0{\cdot}2}=\frac{1}{20}\text{மீ}$$

$$V=\frac{0{\cdot}2}{0{\cdot}2\times 0{\cdot}2}=5 \text{ மீ}/\text{வி}$$

$$\text{ஒப்புச் சொரசொரப்பு}=\frac{k}{4R}=\frac{0{\cdot}0015\times 20}{4\times 1000}=7{\cdot}5\times 10^{-6}$$

மூடி வரைபடத்திலிருந்து,

$$f=0{\cdot}019$$

$$\text{எனவே, அழுத்த வேறுபாடு } \triangle p=\frac{wflV^2}{2g\,4R}$$

$$=\frac{1{\cdot}25\times 0{\cdot}019\times 300\times 5^2\times 20}{2\times 9{\cdot}81\times 4\times 1}$$

$$=45{\cdot}2 \text{ கிகிள}/\text{மீ}^2$$

எனவே, முதற் தற்கோள் சரியல்ல. அடுத்தபடியாக 0·12 மீ × 0·12 மீ சதுர பாய்மக் கடத்தியை எடுத்துக் கொள்வோம்.

$$R=\frac{0{\cdot}12\times 0{\cdot}12}{4\times 0{\cdot}12}=\frac{3}{100}$$

$$V=\frac{0{\cdot}2}{0{\cdot}12\times 0{\cdot}12}=13{\cdot}9 \text{ மீ}/\text{வி}$$

$$\text{ரெயினொல்ஸ் எண்}=\frac{4\times 13{\cdot}9\times 3}{1{\cdot}45\times 10^{-5}\times 100}=1{\cdot}15\times 10^5$$

$$\text{ஒப்புச் சொரசொரப்பு}=\frac{k}{4R}=\frac{0{\cdot}0015\times 100}{4\times 3\times 1000}=0{\cdot}00012$$

எனவே, மூடி வரைபடத்திலிருந்து,

$$f=0{\cdot}018$$

$$\text{அழுத்த வேறுபாடு}=\frac{1{\cdot}25\times 0{\cdot}018\times 300\times 13{\cdot}9^2\times 100}{2\times 9{\cdot}81\times 4\times 3}$$

$$=555 \text{ கிகிள}/\text{மீ}^2$$

கொடுக்கப்பட்டுள்ள அழுத்த வேறுபாடான 630 கிகி/மீ²-க்கு அண்மையில் இந்த அழுத்த வேறுபாடு இருப்பதால் பாய்மக் கடத்தி 120 மிமீ × 120 மிமீ அளவுள்ளதாக எடுத்துக்கொள்ளலாம்.

9·9. குழாயில் இடஞ்சார்ந்த இழப்புகள் (Local Losses in Pipes)

பலதரப்பட்ட குழாய்ச் சாதனங்களான வால்வுகள் (valves), குறைப்புகள் (reducers), வளைவுகள் (bends) முதலியவற்றின் வழிப் பாய்ச்சல் நிகழும் போது உராய்வால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்போடு அந்தச் சாதனங்களில் ஏற்படும் இரண்டாந்தர ஓட்டங்களாலும் (secondary flows), குறுக்கத்தாலும் (constriction) அதிகப்படியான ஆற்றலிழப்பு ஏற்படுகின்றன. நீளமான குழாய்களில் உராய்வால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பை இச்சாதனங்களில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்போடு ஒப்பிட்டால் இவ்வாற்றலிழப்பு குறைவாக இருக்கும். எனவே, இவ் விழப்புகளைச் சிறிய இழப்புகள் (minor losses) என அழைக்கிறோம். ஆனால் நீளம் குறைவான குழாய்களில் இந்தச் சிறிய இழப்புகளே முக்கிய இழப்புகளாக இருக்கும். இந்தச் சிறிய இழப்புகள், திசைவேக அளவில் ஏற்படும் மாற்றத்தாலும் திசைவேகத்தின் திசையில் ஏற்படும் மாற்றத்தாலும் ஏற்படுகின்றன. இப்படிப்பட்ட சாதனங்களில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு மிகக் குறுகிய தூரத்திற்குள் நிகழுவதால் இவற்றை இடஞ்சார்ந்த ஆற்றலிழப்பு (local loss) என்றும் அழைக்கிறோம். இந்த ஆற்றலிழப்பின் மதிப்புகளை அறிவதற்குச் சோதனைமுறையே கையாள வேண்டியதிருக்கிறது. இவற்றின் மதிப்பு திசைவேகத் தலைப்பைச் சார்ந்திருப்பதால் பொதுவாக ஆற்றலிழப்பு உயரமாக எழுதப்படுகிறது. அதாவது'

$$h_L = K\frac{V^2}{2g} \tag{9·27}$$

இதில் V சராசரித் திசைவேகத்தையும் K ஆற்றலிழப்புக் கெழுவையும் குறிக்கும். R-ன் மதிப்பு அதிகமாக இருக்கும்போது K-யின் மதிப்பு f-ஐப் போன்று ஒரே அளவினதாக இருக்கும்.

9·10. திடீர் விரிவில் ஏற்படும் இழப்பு (Loss Due to Abrupt Expansion)

ஒரு நேரான குழாயின் விட்டம் அதன் அச்சு மாறாமல் d_1-லிருந்து d_2-க்குத் திடீரென அதிகரித்தால் அதன் வழிபாயும் பாய்மத்திலேற்படும் ஆற்றலிழப்பு அத்தியாயம் 4-ல் வருவித்துள்ளபடி,

$$h_L = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$$

இதில் V_1, V_2 என்பன அந்தத் திடீர் விரிவுக்கு முன்னும் பின்னுமுள்ள சராசரித் திசைவேகங்களாகும்.

தொடர்ச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

எனவே,

$$h_L = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \frac{V_1^2}{2g}$$

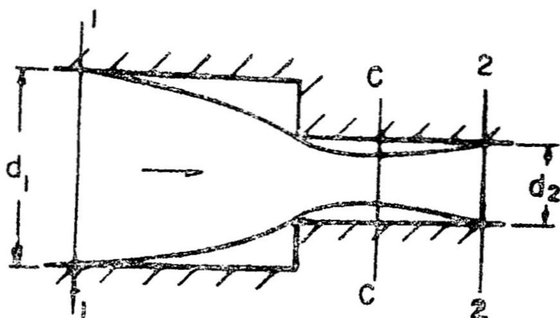
ஆதலால்

$$K = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \qquad (9{\cdot}28)$$

$A_2 \to \infty$ ஆகும்போது குழாயிலிருந்து பாய்மம் பெரிய தொட்டியினுள் பாய்கிறது. இந்த இழைப்பையே வெளியேறும் இழப்பு (exit loss) என்கிறோம். K-யின் மதிப்பு திடீர் விரிசலின் அமைப்பைப் பொருத்தது.

9·11. திடீர், படிப்படியான குறுக்கங்களில் இழப்புகள்

படம் 9·7-ல் உள்ளபடி A_1-லிருந்து A_2-க்குப் பரப்பு திடீரெனக் குறைவதாக எடுத்துக் கொள்வோம். பாய்ச்சலானது CC என்ற



படம் 9·7. திடீர் சுருக்கம்

தாரைக் குறுக்கத்திற்கு குவிந்து பின்னர் குழாயின் விட்டமான d_2-க்கு விரிகிறது. இவற்றில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு CC-க்குப் பின் ஏற்படும் விரிவலாலே (expansion) ஏற்படுகிறது. CC-க்கு முன் ஏற்படும் முடுக்கப் பாய்ச்சற் பாகத்தில் ஆற்றலிழப்பு உராய்வால் மட்டும் ஏற்படுகிறது. அதன் மதிப்பு மிகக் குறைவாக இருக்குமாதலால் அதைப் புறக்கணித்து விடலாம். எனவே, திடீர்

விரிதலால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பிற்கான சமன்பாட்டைப் பயன் படுத்தினால்,

$$h_L = \frac{(V_c - V_2)^2}{2g}$$

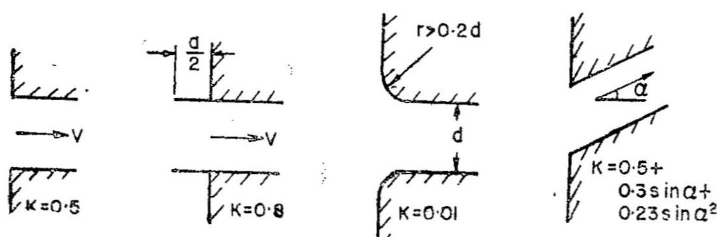
தொடர்ச் சமன்பாடான $C_c A_2 V_c = A_2 V_2$-ஐப் பயன்படுத்தினால்,

$$\frac{h_L}{\frac{V_2^2}{2g}} = K = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2 \qquad (9{\cdot}29)$$

இதில் C_c என்பது குறுக்கக் கெழு (coefficient of contraction) ஆகும். சோதனைகளிலிருந்து குறுக்கக் கெழுவின் மதிப்பானது,

$$C_c = 0{\cdot}62 + 0{\cdot}38\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^3$$

பெரிய தொட்டியிலிருந்து ஒரு வட்டக் குழாய்க்குள் பாய்மம் பாய்வதற்கான நிலையை $A_1 \to \infty$ என்ற நிபந்தனை விளக்குகிறது. பலதரப்பட்ட நுழைவாயில் அமைப்புகளுக்கான இழப்புகள் படம் 9·8-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. நுழைவாயின் விளிம்புகளை சிறிது வளைத்துவிட்டால் ஆற்றலிழப்பு மிகக் குறைவது நோக்கற்பாலது.

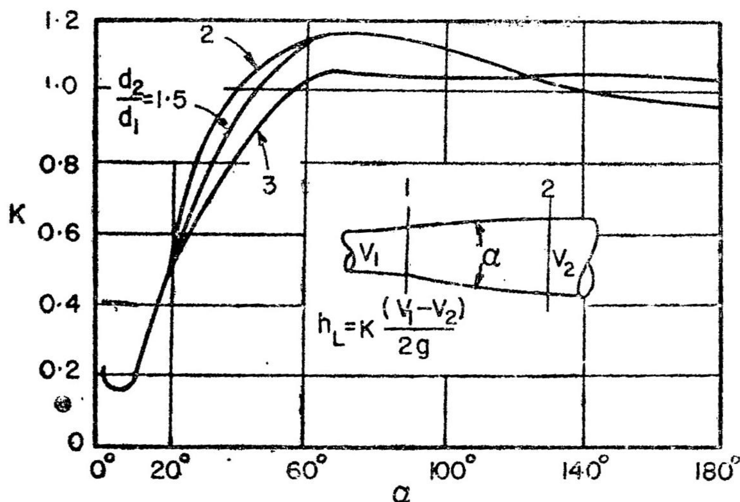


படம் 9·8. நுழைவாய் அமைப்புகளும், K-யின் மதிப்புகளும்

நன்கு நிர்மாணிக்கப்பட்ட ஒரு முனையில் (nozzle) ஆற்ற லிழப்புக் கெழு 0·005 முதல் 0·06 வரை இருக்கும். குவியும் பாதையில் முடுக்கம் ஏற்படுவதால் பொதுவாக ஆற்றலிழப்பு குறைவாகவே இருக்கும். இவற்றுள் பிரிதல் (separation) நிகழாததால் ஆற்றலிழப்பிற்குக் காரணம் உராய்வு மட்டுமேயாகும்.

9·12. விரவிகளில் இழப்பு (Loss in Diffusers)

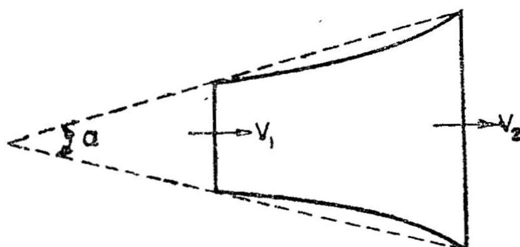
கூம்பு வடிவான படிப்படியாக விரியும் குழாய் அமைப்பிற்கு விரவி அல்லது பரப்பி (diffuser) எனப் பெயர். இதன் குறுக்கு வெட்டு அமைப்பு வட்ட அல்லது வட்டமற்ற வடிவில் இருக்கலாம். இந்த அமைப்பில் பாய்மம் பாயும் திசையில் திசைவேகமானது படிப்படியாகக் குறைகிறது. இந்தப் பாதகமான அழுத்தச் சரிவால் (adverse pressure gradient) எல்லைப் படலமானது எல்லையி லிருந்து பிரிந்து அதனால் ஏற்படும் சுழல்கள்(eddies)ஆற்றலிழப்பை அதிகரிக்கின்றன. விரிவு கோணம்(angle of divergence) அதிகரிக்கு மானால் பிரிதலுக்கான வாய்ப்பும் அதிகரிக்கிறது. ஆனால் விரிவு கோணம் சிறியதாக இருக்குமானால் விரவியின் நீளம் அதிகரிக் கிறது; அதனால் உராய்வால் ஏற்படும் இழப்பு அதிகரிக்கும். எனவே, மிகச் சிறந்த விரிவு கோணமானது வட்ட வடிவான குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள விரவிகளுக்கு 6° ஆகும். சதுர வடி வான வழவழப்பான விரவிகளுக்கு இக்கோணம் 7° முதல் 9° வரை இருக்கவேண்டும். நீண்ட சதுர வடிவான வழவழப்பான விரவி களுக்கு இந்தக் கோணம் 10° முதல் 12° வரை இருக்கலாம். படம் 9·9-ல் வழவழப்பான கூம்பு வடிவான விரவிகளுக்கான சிறந்த விரிவுகோணம் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 9·9. கூம்பு வடிவ விரவிகளுக்கு இழப்புக்கெழு

α-வின் மதிப்பு அதிகரிக்குங்கால் விரவியில் இழப்பும் அதி கரித்துக் கொண்டேயிருந்து α-வின் மதிப்பு 60°-ஆக இருக்கும் போது இழப்பு அதன் உச்ச மதிப்பை அடைகிறது. அதற்கு மேலும்

α-வின் மதிப்பு அதிகரிக்குமானால் பாய்ச்சல் சீரான அமைப்பை அடைந்து சமன்பாடு 9·28-க்குச் சமமான மதிப்பையுடைய இழப்பை அடையும்.



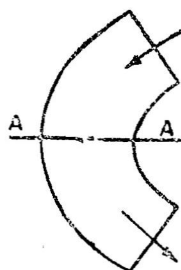
படம் 9·10. வளைந்த அமைப்புள்ள விரவி

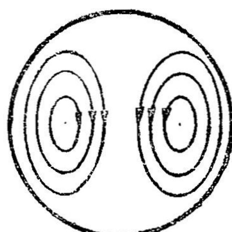
இட வசதியில்லாத இடங்களில் அதிக மதிப்புள்ள விரிவு கோணங்களைப் பயன்படுத்த வேண்டிய அவசியம் ஏற்பட்டால் படம் 9·10-ல் உள்ளபடி வளைவான பக்கங்களையுடைய விரவியைப் பயன்படுத்தலாம். சிறந்த விரிவு கோணமானது 15° முதல் 20° வரையுமாக இருக்கும். இந்த அமைப்புள்ள விரவிகளில் பாய்ச்சல் நிலைப்பாடு (stability) உள்ளதாக இருப்பதால், டிராஃப்ட் குழாய்களுக்கு (draft tubes) இவைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இவற்றில் ஏற்படும் இழப்பானது நேரான பக்கங்களையுடைய கூம்பு விரவியில் ஏற்படும் இழப்பில் 40 சதவீதமே யாகும்.

9·13. வளைவுகளில் இழப்புகள் (Losses in Bends)

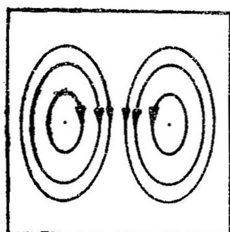
ஒரு வளைவில் (bend) ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு அதே நீளமான நேரான குழாயில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பைவிட அதிகமாகும். வளைவில் ஏற்படும் மொத்த ஆற்றலிழப்பு வளைவின் நீளம், வளைவுகோணம், $\frac{R}{r}$ விகிதம், வடிவ அமைப்பு ஆகியவற்றை பொருத்தது. சோதனைகளிலிருந்து 1:2·5 பக்க விகிதமுள்ள நீண்ட சதுர குறுக்குவெட்டு அமைப்பு உள்ள வளைவில் வட்ட வடிவமுள்ள அமைப்பைவிட ஆற்றலிழப்பு குறைவு எனத் தெரிகிறது. பெரிய ஆரமுள்ள வளைவுகளில் பிரிதல் (separation) இல்லாத போதும் அவற்றில் ஏற்படும் இரண்டாம் தரப் பாய்ச்சலால் (secondary flow) இழப்பு அதிகமாக ஏற்படுகிறது. இரண்டாம் தரப் பாய்ச்சலால் பாய்மத்தில் திசைவேகம் அதிகரிக்கிறது; திசைவேகப் பகிர்வு சீரற்றதாகிறது; எனவே, இழப்பு அதிகரிக்கிறது. இரண்டாம்தரப் பாய்ச்சலால் ஏற்படும் சுழல் இயக்கம் (vortex motion) வளைவு முடிந்தபின்னும் 50 முதல் 75 விட்டதூரம் வரை

நீடிக்கும். பல வகையான வடிவமுள்ள வளைவுகளில் ஏற்படும் இரண்டாம் தரப் பாய்ச்சல்களும் அவற்றின் விளைவுகளும் படம் 9·11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. வட்டவடிவ வளைவுகள் பொறியியற்

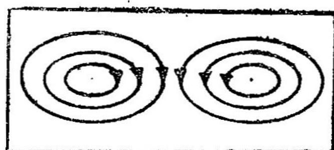




(அ) வட்ட வளைவு



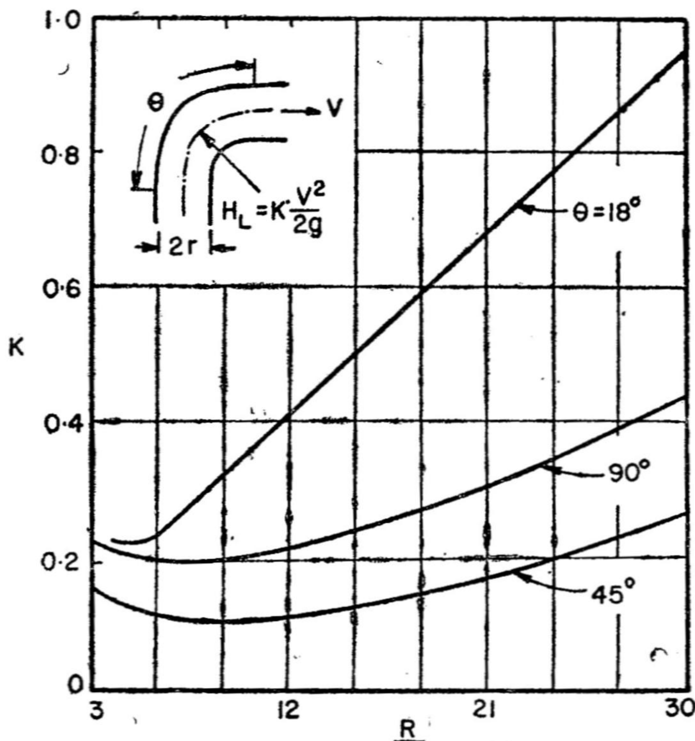
(ஆ) சதுர வளைவு



(இ) நீண்ட சதுர வளைவு

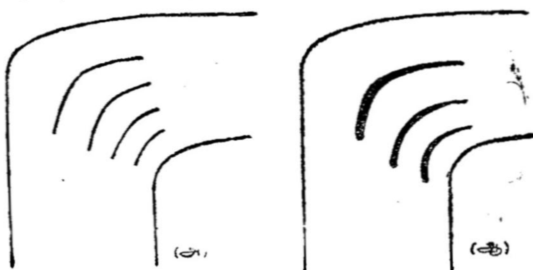
படம் 9·11. வளைவில் இரண்டாந்தர ஓட்டம்

துறையில் அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படுவதால் அவற்றின் இழப்புக் கெழுக்கள் எவ்வாறு வேறுபடுகிறது என்பதை படம் 9·12-ல் வளைவுகோணம் a, ஆரவிகிதம் $\frac{R}{r}$ இவற்றின் சார்பாகக் காட்டப்பட்டுள்ளன. $\frac{R}{r}$-ன் மதிப்பு 4-ஆக இருக்கும்போது மிகக் குறைந்த இழப்பு ஏற்படுகிறது. இந்த அடிப்படையில் பெரிய விட்டமுள்ள அமைப்புகளை அமைத்தால் அவற்றின் நீளம் அதிகமாக இருக்கும். எனவே, வழிகாட்டித் தகடுகள் (guide vanes) கொண்ட குறுகிய வளைவுகள் நடைமுறையில் கையாளப்படுகின்றன. படம் 9·13-ல் இம்மாதிரியான அமைப்புகள் காட்டப்பட்டுள்ளன. இழைக் கோடு வடிவமற்ற வழிகாட்டித் தகடுகளில் 90° வளைவில் இழப்புக் கெழு 0·4-ஆக இருக்கும். ஆனல் இழைக் கோடு வடிவமுள்ள வழிகாட்டி அமைப்புகளில் இழப்புக் கெழு



படம் 9·12. வளைவில் இழப்புக்கெழு

0·25-க்கும் குறைவாக இருக்கும். இந்த வழிகாட்டித் தகடுகள்



படம் 9·13. வளைவில் வடிவமைக்கப்பட்ட திசைகாட்டிகள்

அமைக்காவிட்டால் *K*-யின் மதிப்பு 1·2-ஆக இருக்கும்.

9·14. குழாய்ச் சாதனங்களில் இழப்புகள் (Losses in Pipe Fittings)

எந்தக் குழாய்ச் சாதனங்களில் அதன்வழி பாயும் பாய்மத்தின் திசைவேகத்தின் திசை அல்லது அளவு மாற்றப்படுகிறதோ

அவற்றிலெல்லாம் ஆற்றலிழப்பு ஏற்படும். இந்த ஆற்றலிழப் பிற்குக் காரணம் கொந்தளிப்பால் ஏற்படும் சுழல்களும் அவற்றின் அழிவுமேயாகும். ஆற்றலிழப்பை பொதுவாக $K\frac{V^2}{2g}$ என்ற கோவையால் (expression) விளக்குகிறோம். இதில் K ஆற்ற லிழப்புக் கெழுவையும், V சராசரித் திசைவேகத்தையும் குறிக்கும். K-யின் மதிப்பு சாதனத்தையும், அது குழாய் அமைப்பில் எந்த இடத்தில் பொறுத்தப்பட்டிருக்கிறதென்பதையும் பொருத்தது. அட்டவணை 9·2-ல் சில முக்கியமான குழாய்ச் சாதனங்களுக்கான இழப்புக் கெழுக்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. எப்போது மிகத் திருத்தமான மதிப்பு தேவையோ அப்போது சோதனைகளி லிருந்தே நாம் சரியான மதிப்பை அடைய வேண்டும். ஆனால் பொதுவான பொறியியற் கணக்குகளுக்கு இந்த அட்டவணையி லுள்ள மதிப்புகள் போதும்.

அட்டவணை 9·2

சாதனங்கள்	K
குளோப் வால்வு, முழுவதும் திறந்து	10·00
கதவு அமைப்பு வால்வு, முழுவதும் திறந்து	0·20
,, $\frac{3}{4}$ பாகம் திறந்து	1·15
,, $\frac{1}{2}$ பாகம் திறந்து	5·60
,, $\frac{1}{4}$ பாகம் திறந்து	24·00
பம்பின் பாத வால்வு (foot valve)	1·5
90° குறுகிய வளைவு (elbow)	0·9
45° ,, ,,	0·4
T இணைப்பு	1·8
90° வளைவு (bend)	0·1

இரண்டு சாதனங்கள் அருகில் இருக்குமானால் அவற்றின் மொத்த இழப்பு தனிப்பட்ட இழப்புகளின் கூட்டுத் தொகையாக இராது. இருந்தபோதிலும் நடைமுறையில் இந்த வேறுபாட்டைப் புறக்கணித்து விடுகிறோம். இவ்வாறு செய்வதால் பொதுவாக தவறுகள் சாதகமாகவே நிகழ்கின்றன.

மாதிரிக் கணக்கு 9·9. d விட்டம் l நீளமுள்ள குழாயில் சீரான பாயுவீதத்தில் பாய்மம் பக்கவாட்டில் அக்குழாயின் முழு நீளத்திலும் வெளிவருகிறது. அக்குழாயின் முடிவில் நீளவாட்டத்தில் பாய்மம் வெளிவரவில்லை; இறுதி அடைக்கப்பட்டிருக்கிறது. f-ன் மதிப்பு மாறவில்லை என்றால் உராய்வால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பைக் கணக்கிடு.

குழாயின் ஆரம்பத்தில் நீளவாட்டில் பாய்மத்தின் திசைவேகம் V-ஆக இருக்கட்டும். குழாயின் நீளம் l-ஆக இருக்குமானால் ஆரம்பத்திலிருந்து x-தூரத்தில் திசைவேகமானது,

$$V_x = \frac{(l-x)}{l} V$$

dx என்ற சிறிய தூரத்தில் உராய்வால் ஏற்படும் இழப்பானது,

$$dh_f = \frac{f dx V_x^2}{2gd}$$

தொகையிட்டால்,

$$h_f = \frac{fV^2}{2gdl^2} \int_0^l (l-x)^2 \, dx$$

$$= \frac{fV^2}{2gdl^2} \cdot \frac{l^3}{3} = \frac{1}{3} \frac{flV^2}{2gd}$$

இதில் $V = \frac{4Q}{\pi d^2}$ ஆகும். எனவே, Q என்ற பாயுவீதம் குழாயின் l நீளம் முழுவதும் ஏற்படுவதால் உண்டாகும் இழப்பில் மூன்றில் ஒரு பங்காகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 9·10. ஒரு குழாயானது d_1 விட்டத்திலிருந்து d_2 விட்டத்திற்கு l நீளத்தில் சீராகக் குறைகிறது. f-ன் மதிப்பு மாறவில்லையெனக் கொண்டு அந்தக் குவியும் குழாயில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பைக் கணக்கிடு. பாயுவீதம் Q ஆகும்.

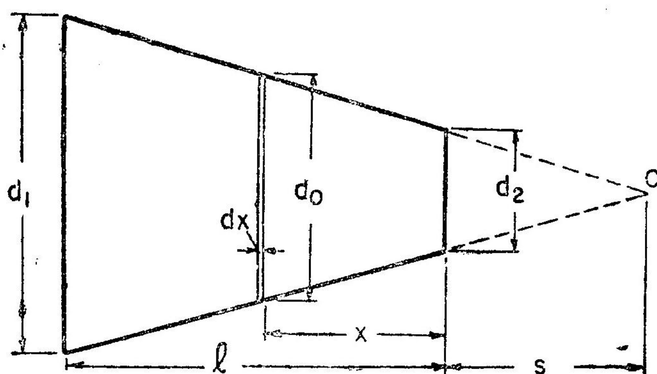
படத்திலிருந்து,

$$\frac{d_0}{d_2} = \frac{s+x}{x}$$

dx என்ற சிறிய தூரத்தில் உராய்வால் ஏற்படும் இழப்பானது,

$$dh_f = \frac{f dx\, V_0^2}{2g\, d_0}$$

ஆனால் $V_0 = \frac{4Q}{\pi d_0^2}$



எனவே,

$$dh_f = \frac{16 f Q^2 dx}{2g\pi^2 d_0^5} = \frac{16 f Q^2 s^5 dx}{2g\pi^2 (s+x)^5 d_2^5}$$

$$\therefore \quad h_f = \frac{16 f Q^2 s^5}{2g\pi^2 d_2^5} \int_0^l \frac{dx}{(s+x)^5}$$

$$= \frac{16 f Q^2 s^5}{2g\pi^2 d_2^5} \left[-\frac{1}{4(s+x)^4} \right]_0^l$$

$$= \frac{4 f Q^2 s^5}{2g\pi^2 d_2^5} \left[\frac{1}{s^4} - \frac{1}{(s+l)^4} \right]$$

9·15. சமமதிப்பு நீளங்கள் (Equivalent Lengths)

குழாய்ச் சாதனங்களில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பை நேரான, தடங்கலற்ற சீரான விட்டமுள்ள குழாயின் நீளத்தில் ஏற்படும் உராய்வுத் தடைக்கு அதாவது ஆற்றலிழப்பிற்குச் சமமாகச் சொல்வது வழக்கத்திலிருக்கிறது. இந்த நீளத்திற்கு சமமதிப்பு நீளம் (equivalent length) எனப் பெயர். பல விட்டக் குழாய் களுக்கு பல்வேறு சாதனங்களுக்கான சமமதிப்பு நீளங்கள்

இதற்கான அட்டவணைகளில் குறிப்புநூல்களில் (handbooks) கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. எனவே, இந்தச் சமமதிப்பு நீளங்களை குழாயின் நீளங்களோடு கூட்டி, குழாயில் ஏற்படும் மொத்த ஆற்றலிழப்பைக் கணக்கிடுவது எளிதாக இருக்கிறது.

இந்தக் கருத்தைப் பயன்படுத்தி, D_2 விட்டம், f_2 உராய்வுக் கெழு, l_2 நீளமுள்ள ஒரு குழாய்க்கு சமமதிப்பு நீளத்தை D_1 விட்டம், f_1 உராய்வுக் கெழு உள்ள குழாய்க்குக் கீழ்க்கண்டவாறு காணலாம்.

$$\frac{f_1 l_e V_1^2}{2gD_1} = \frac{f_2 l_2 V_2^2}{2gD_2} = h_f$$

பாயுவீதமானது Q-ஆக இருக்குமானல்,

$$l_e = \frac{f_2}{f_1}\left(\frac{D_1}{D_2}\right)^5 l_2 \qquad (9{\cdot}30)$$

இதேபோல் குழாய்ச் சாதனங்களுக்கு,

$$K\frac{V^2}{2g} = \frac{f l_e V^2}{2gD} \qquad (9{\cdot}31)$$

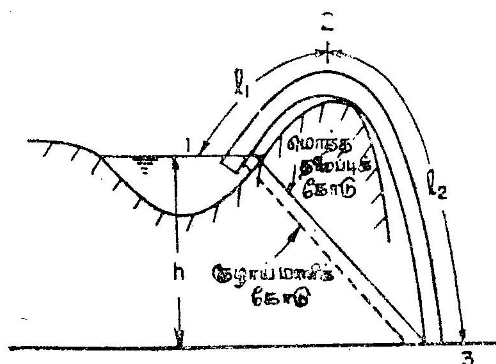
மாதிரிக் கணக்கு 9·11. 100 மீ நீளம், 0·015 உராய்வுக் கெழு, 200 மிமீ விட்டமுள்ள ஒரு குழாயை 400 மிமீ விட்டமுள்ள குழாயால் மாற்ற வேண்டியதிருக்கிறது. அதே அளவு பாயு வீதத்திற்கு ஆற்றலிழப்பு மாருமல் இருக்குமானல் தேவையான 400 மிமீ விட்டக் குழாயின் நீளம் என்ன? 400 மிமீ விட்டக் குழாயில் உராய்வுக் கெழு 0·012 ஆகும்.

$$l_e = \frac{0{\cdot}015}{0{\cdot}012}\left(\frac{400}{200}\right)^5 \times 100 = 4000 \text{ மீ.}$$

9·16. வடிகுழாய் (Syphon)

ஒரு உயரமான திரவமட்டத்திலிருந்து அம்மட்டத்திற்குக் கீழே உள்ள இடத்திற்கு ஒரு குழாய் மூலம் திரவத்தைக் கடத்தும் அமைப்பு படம் 9·14-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. அதில் குழாய் மேலே உள்ள திரவமட்டத்திற்கு உயர்ந்து பின் கீழ்நோக்கிச் செல்கிறது. இப்படிப்பட்ட அமைப்பிற்கு வடிகுழாய் எனப் பெயர். ஒரு குளத்திலிருந்து மேட்டின் வழியாக இந்த அமைப்பால் நீரை எந்த விதமான புற ஆற்றலுமின்றி கடத்தலாம். இந்த அமைப்பு வேலை செய்யக் குழாய் முழுவதும் முதற்கண் திரவத்தால் நிரப்பப் படவேண்டும். வளிமண்டல அழுத்தத்தால் திரவமானது

உயரும் புயத்தில் (rising limb) உயருகிறது. இந்த உயரம், உயரத்தின் உச்சியில் திரவத்தில் ஆவி யழுத்தத்திற்கும் (vapour pressure) குறைவான அழுத்தம் ஏற்படாதவாறு சற்று குறை வாகவே இருக்கவேண்டும். இக்குழாயில் அழுத்தம் எந்த



படம் 9·14. வடிகுழாய்

இடத்திலும் வளிமண்டல அழுத்தத்திற்குக் குறைவாகவே இருக்கும். மொத்த ஆற்றல் கோடும், குழாய்மானித் தலைப்புக் கோடும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளன. திரவம் குழாய் முழுவதும் ஓடும் நிலையில் புள்ளிகளில் 1, 2, 3-ல் பெர்னுலிச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினல்,

$$Z_1+0+\frac{p_1}{w}=Z_2+\frac{V^2}{2g}+\frac{p_2}{w}+0\cdot5\frac{V^2}{2g}+\frac{fl_1V^2}{2gD}$$

$$=Z_3+\frac{V^2}{2g}+\frac{p_3}{w}+\frac{fl_2V^2}{2gD}$$

இதில் $\frac{p_1}{w}=\frac{p_3}{w}=\frac{p_a}{w}$ ஆகும். மேலும் $Z_3-Z_1=h$.

ஆகவே, சுருக்கினல்,

$$h=\frac{V^2}{2g}\left(1+K+\frac{fl}{D}\right) \qquad (9\cdot32)$$

இதில் K எல்லா இடஞ்சார்ந்த இழப்புகளுக்குமான கெழுவாகும்.

வடிகுழாயின் உச்சியில் அழுத்தமானது திரவத்தின் ஆவி யழுத்தத்திற்குக் குறையக் கூடாது. இல்லாவிட்டால், அந்த இடத்தில் திரவம் ஆவியாக மாறி ஓட்டத்தைத் தடுக்கும்; வடி குழாயில் திரவம் ஓடுவது தடைப்படும்.

மாதிரிக் கணக்கு 9·12. வடிகுழாய் உச்சிக்கும், அதன் நுழை வாயுக்குமுள்ள பெரும நீளத்தைக் கீழ்க்கண்ட நிலைக்குக் கணக்கிடுக: குழாயின் மொத்த நீளம் 1000 மீ. குழாயின் விட்டம் 200 மிமீ. வடிகுழாய் இணைக்கும் இரண்டு நீர்த்தேக்கங்களி லுள்ள நீர்மட்டங்களின் வேறுபாடு 25 மீ. உயரத்திலுள்ள நீர்த் தேக்கத்தின் நீர்மட்டத்திலிருந்து வடிகுழாய் உச்சியின் மட்ட உயரம் 5 மீ. குழாயின் சொரசொரப்பு 0·016 மிமீ. நீரின் ஆவி யழுத்தம் 2·33 மீ நீரின் தனி உயரம். $\nu = 10^{-6}$ மீ^{2}/வி.

$$k = 0{\cdot}016 \text{ மிமீ}$$

$$\therefore \quad \frac{k}{D} = \frac{0{\cdot}016}{200} = 8 \times 10^{-5}$$

V-யின் மதிப்பு 2·7 மீ/வி என ஊகித்துக் கொள்ளவும்.

$$\mathbf{R} = \frac{VD}{\nu} = \frac{2{\cdot}7 \times 0{\cdot}2}{10^{-6}}$$

$$= 5{\cdot}4 \times 10^5$$

படம் 9·4-லிருந்து $f = 0{\cdot}014$

பாய்ச்சலுக்கான தலைப்பு $= 25$ மீ. ஆதலால்

$$25 = 0{\cdot}5\frac{V^2}{2g} + \frac{V^2}{2g} + \frac{0{\cdot}014 \times 1000 V^2}{2g \times 0{\cdot}2}$$

$$\therefore \quad V = \sqrt{\frac{25 \times 19{\cdot}62}{71{\cdot}5}} = 2{\cdot}62 \text{ மீ/வி}$$

நாம் ஊகித்துப் பயன்படுத்திய திசைவேகத்திற்குச் சமீபத்தில் இதன் மதிப்பு இருப்பதால், f-ன் மதிப்பை மாற்ற வேண்டாம்.

உச்சியில் குறைந்த அழுத்தம் $= 2{\cdot}33$ மீ நீர் உயரம்

பெர்னூலிச் சமன்பாட்டை நுழைவாய்க்கும், அதிலிருந்து l நீள முள்ள தூரத்தில் இருக்கும் உச்சிக்கும் பயன்படுத்தினால்,

$$10{\cdot}33 = 0{\cdot}5\frac{V^2}{2g} + \frac{V^2}{2g} + 5 + 2{\cdot}33 + \frac{0{\cdot}014 l \times V^2}{2g \times 0{\cdot}2}$$

ஆனால் $V = 2{\cdot}62$ மீ/வி

$$\therefore l = 114 \text{ மீ.}$$

9·17. குழாய் அமைப்புகள்

இந்தப் பகுதியில் சில முக்கியமான அமைப்புகளில் ஏற்படும் பாயுவீதம், அழுத்த வேறுபாடு, ஆற்றலிழப்பு முதலியவற்றை எவ்வாறு கணக்கிடுவது என்பது பற்றி விளக்கப்படும்.

9·18. தொடர் குழாய்கள் (Pipes in Series)

வெவ்வேறு விட்டங்கள் உள்ள இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட குழாய்கள் தொடர்வாக இணைக்கப்பட்டுள்ள அமைப்பிற்கு தொடர் குழாய்கள் அமைப்பு எனப் பெயர். இந்த அமைப்பில் ஏற்படும் மொத்த ஆற்றலிழப்பு, குழாய்ச் சாதனங்களால் ஏற்படும் இழப்புகள், உராய்வால் ஏற்படும் இழப்புகள் ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகையாகும். குழாயின் நீளங்கள் $l_1, l_2, \ldots\ldots l_n$-ஆகவும் விட்டங்கள் $d_1, d_2 \ldots\ldots\ldots d_n$ ஆகவும் இருக்குமானல் மொத்த இழப்பானது,

$$h_L = \frac{f_1 l_1 V_1^2}{2gd_1} + \frac{f_2 l_2 V_2^2}{2gd_2} + \ldots K_1 \frac{V_1^2}{2g} + K_2 \frac{V_2^2}{2g} + \ldots \quad (9{\cdot}33)$$

இதில் $V_1 = \dfrac{4Q}{\pi d_1^2}$, $V_2 = \dfrac{4Q}{\pi d_2}$, ...

K அந்தக் குழாயிலுள்ள இடஞ்சார்ந்த இழப்புக்கெழுவைக் குறிக்கும்.

9·19. இணை குழாய்கள் (Pipes in Parallel)

படம் 9·15-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட குழாய்கள் ஒரு புள்ளியிலிருந்து பிரிந்து சம அல்லது சமமற்ற தூரங்கள் கடந்து பின்னர் ஒரே புள்ளியில் வந்து சேருமானல் அந்த அமைப்பிற்கு இணைகுழாய் அமைப்பு எனப் பெயர். பாயுவீதத்தை அதிகரிக்க இருக்கும் குழாயோடு மற்ருெரு இணை குழாயைப் பொறுத்தலாம். இணை குழாய்களில் ஏற்படும் பாய்ச்சலைக் கணக்கிட கீழ்க்கண்ட இரண்டு கொள்கைகளைக் கடைப்பிடிக்க வேண்டும்.

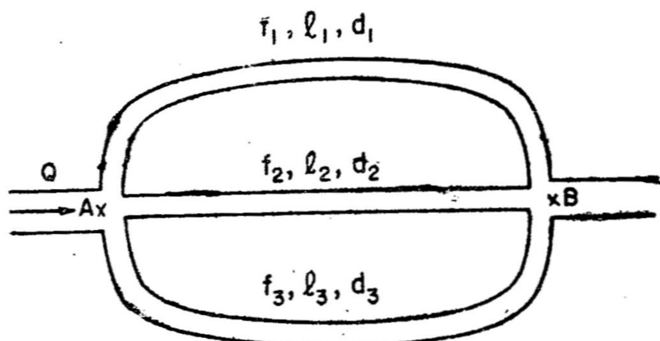
1. தொடர் கொள்கை. அதாவது

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots\ldots$$

2. A, B என்ற இரண்டு புள்ளிக்களுக்கிடையேயுள்ள குழாய் மானி உயர வேறுபாடு, அந்த இணை குழாய் அமைப்பிலுள்ள

ஒவ்வொரு குழாயிலும் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு உயரத்திற்குச் சமமாகும்.

$$\left(\frac{p_A}{w}+Z_A\right)-\left(\frac{p_B}{w}+Z_B\right)=h_{f1}=h_{f2}=h_{f3} \qquad (9{\cdot}34)$$



படம் 9·15. இணை குழாய்கள்

A, B என்ற இரண்டு புள்ளிகளுக்கிடையேயுள்ள ஆற்றலிழப்பு உயரம், குழாயின் விட்டம், உராய்வுக் கெழு, சமமதிப்பு நீளம் ஆகியவற்றைப் பொருத்தது. கொடுக்கப்பட்டுள்ள ஒவ்வொரு குழாயிலும் ஏற்படும் பாயுவீதத்தையும் டார்ஸி சமன்பாட்டை உபயோகித்துக் கணக்கிட முடியும். மொத்த பாயுவீதமான ஒவ்வொரு குழாயிலும் ஏற்படும் பாயுவீதங்களின் கூட்டுத் தொகைக்குச்சமமாகும். மொத்தப் பாயுவீதம், சமமதிப்புக் குழாய் நீளங்கள், விட்டங்கள் கொடுக்கப்பட்டால் ஒவ்வொரு குழாயிலும் ஏற்படும் பாயுவீதத்தைப் பன்முறை முயன்றே கணக்கிட முடியும்.

மாதிரிக் கணக்கு 9·13. நகர நீர் விநியோகத்திற்கு 0·3 மீ விட்டமுள்ள குழாய் தேவைப்படுகிறது. 250 மிமீ விட்டத்திற்கு அதிகமாகவுள்ள குழாய்கள் கையிருப்பு இல்லாததால் இரண்டு குழாய்களை இணையாக அமைப்பதாகத் தீர்மானிக்கப்பட்டது. இந்த இரண்டு இணைகுழாய்களின் மொத்தப் பாயுவீதம், 0·3 மீ விட்டமுள்ள குழாயில் ஏற்படும் பாயுவீதத்திற்குச் சமமாக இருக்க வேண்டுமானல் இணைகுழாய்களின் விட்டம் என்ன ?

0·3 மீ விட்டக் குழாயில் ஏற்படும் இழப்பு= $\dfrac{flV^2}{2g\times 0{\cdot}3}$. ஒரு குழாயில் ஏற்படும் இழப்பும், இணைகுழாய் அமைப்பில் ஏற்படும் இழப்பும் சமமாக இருக்க வேண்டும். அந்த இணைகுழாய்களின்

விட்டம் d'-ஆகவும், அதன்வழி பாயும் நீரின் திசைவேகம் V'-ஆகவும் இருக்கட்டும். இணைகுழாயில் ஆற்றலிழப்பானது,

$$\frac{flV'^2}{2gd'}$$

இந்த இரண்டு ஆற்றலிழப்புகளும் சமமாக இருக்க வேண்டுமாதலால்,

$$\frac{V'^2}{V^2}=\frac{d'^2}{0\cdot3} \qquad (அ)$$

தொடர்ச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$\frac{V\times\pi\times0\cdot3^2}{4}=2V'\times\frac{\pi d'^2}{4}$$

$$\therefore \frac{V'}{V}=\frac{0\cdot09}{2d'^2} \qquad (ஆ)$$

(அ), (ஆ)-விருந்து

$$d'=0\cdot228 \text{ மீ}$$

ஆகவே, $d=250$ மிமீ குழாய்களைப் பயன்படுத்தலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 9·14. 1000 மீ, 700 மீ, 1200 மீ நீளமும், 0·3 மீ, 0·2 மீ, 0·4 மீ விட்டமும் 0·3 மிமீ, 0·02 மிமீ, 0·10 மிமீ சொரசொரப்பும் முறையே உள்ள இணைகுழாய் அமைப்பின் வழியாகப் பாயும் மொத்தப் பாயுவீதம் 0·5 மீ^{3}/வி. இவ்வமைப்பில் ஒவ்வொரு குழாயின் வழியாக ஏற்படும் பாயுவீதம் என்ன? $\nu=10^{-2}$ செமீ^{2}/வி

$l_1=1000$ மீ;	$D_1=0\cdot3$ மீ;	$k_1=0\cdot3$ மிமீ
$l_2=700$ மீ;	$D_2=0\cdot2$ மீ;	$k_2=0\cdot02$ மீ
$l_3=1200$ மீ;	$D_3=0\cdot4$ மீ	$k_3=0\cdot10$ மிமீ

இப்போது

$$\frac{k_1}{D_1}=\frac{1}{1000}$$

$$\frac{k_2}{D_2}=\frac{1}{10,000}$$

$$\frac{k_3}{D_3}=\frac{1}{4000}$$

முதற்கண் 1-வது குழாயின் வழியாகப் பாயுவீதம் 0·18 மீ³/வி என எடுத்துக் கொள்ளவும். படம் 9·4-ஐப் பயன்படுத்தி உராய்வுக் கெழுவை அடையலாம். எடுத்துக்கொண்ட பாயுவீதத்திற்கு

$$V_1' = \frac{0{\cdot}18 \times 4}{\pi \times 0{\cdot}3^2} = 2{\cdot}54 \text{ மீ/வி} \qquad \mathbf{R}' = \frac{2{\cdot}54 \times 0{\cdot}3}{10^{-6}} = 7{\cdot}62 \times 10^6$$

படம் 9·4-லிருந்து, $f_1' = 0{\cdot}02$

$$\therefore h_{f1}' = \frac{0{\cdot}02 \times 1000}{0{\cdot}3} \times \frac{2{\cdot}54^2}{2 \times 9{\cdot}81} = 22{\cdot}1 \text{ மீ}$$

இப்போது இரண்டாவது குழாயில்,

$$22{\cdot}1 = f_2' \; \frac{700}{0{\cdot}2} \, \frac{V_2'^2}{2g}$$

$f_2' = 0{\cdot}025$ என எடுத்துக் கொண்டால்,

$V_2' = 2{\cdot}22$ மீ/வி. ஆதலால் $\mathbf{R}_2' = 4{\cdot}4 \times 10^6$

இப்போது படம் 9·4-லிருந்து $f_2' = 0{\cdot}015$, $\therefore$ $V_2 = 2{\cdot}88$ மீ/வி

$$\therefore\ Q_2' = 0{\cdot}091 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

மூன்றுவது குழாயில்,

$$22{\cdot}1 = f_3' \times \frac{1200}{0{\cdot}4} \, \frac{V_3'}{2 \times 9{\cdot}81}$$

$f_3' = 0{\cdot}015$ என எடுத்துக் கொண்டால், $V_3' = 3{\cdot}1$ மீ/வி, $\mathbf{R}_3' = 1{\cdot}24 \times 10^6$. படம் 9·4–லிருந்து எடுத்துக் கொண்ட f_3'-ன் மதிப்பு சரியானதே எனத் தெரிகிறது. இப்போது

$$Q_3' = 0{\cdot}39 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

ஆதலால் மொத்தப் பாயுவீதம்
$$\begin{aligned} Q' &= \Sigma Q_1' \\ &= 0{\cdot}18 + 0{\cdot}09 + 0{\cdot}39 \\ &= 0{\cdot}66 \text{ மீ}^3\text{/வி} \end{aligned}$$

ஆனால் கொடுக்கப்பட்ட பாயுவீதம் 0·5 மீ³/வி. ஆகவே, நாம் முதற்கண் $Q_1' = 0{\cdot}18$ என எடுத்துக் கொண்டது சரியல்ல. இப்போது கீழ்க்கண்ட வீதத்தில் பாயுவீதங்களை மாற்றுக.

$$Q_1 = \frac{0{\cdot}18}{0{\cdot}66} \times 0{\cdot}5 = 0{\cdot}135 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

$$Q_2 = \frac{0{\cdot}09}{0{\cdot}66} \times 0{\cdot}5 = 0{\cdot}069 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

$$Q_3 = \frac{0{\cdot}39}{0{\cdot}66} \times 0{\cdot}5 = 0{\cdot}296 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

இப்போது,

$$V_1 = \frac{0{\cdot}135 \times 4}{\pi \times 0{\cdot}2^2} = 1{\cdot}93 \text{ மீ/வி} ; \quad \mathbf{R}_1 = 5{\cdot}79 \times 10^5 ; \; f_1 = 0{\cdot}02 ;$$

$$h_{f1} = 12{\cdot}4 \text{ மீ}$$

$$V_2 = \frac{0{\cdot}069 \times 4}{\pi \times 0{\cdot}2^2} = 2{\cdot}07 \text{ மீ/வி} ; \quad \mathbf{R}_2 = 4{\cdot}1 \times 10^5 ; \quad f_2 = 0{\cdot}015$$

$$h_{f_2} = 11{\cdot}4 \text{ மீ}$$

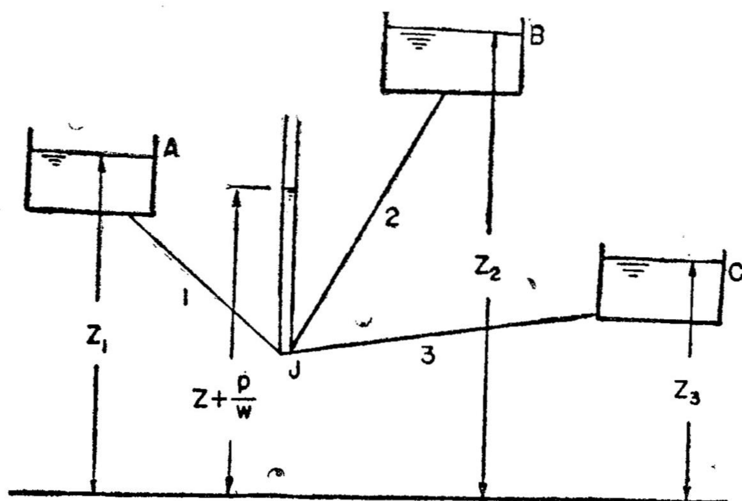
$$V_3 = \frac{0{\cdot}296 \times 4}{\pi \times 0{\cdot}4^2} = 2{\cdot}35 \text{ மீ/வி} ; \quad \mathbf{R}_3 = 9{\cdot}4 \times 10^5 ; \quad f_3 = 0{\cdot}015$$

$$h_{f3} = 12{\cdot}4 \text{ மீ}$$

f_2-வின் மதிப்பைச் சிறிது மாற்றினல் h_{f_2}-வும் 12·4 மீ இருக்கும். எனவே, குழாய்மானி உயர வேறுபாடு 12·4 மீ எனக் கொள்ளலாம்.

9·20. கிளைக் குழாய்கள் (Branch Pipes)

மூன்று அல்லது அதற்கு அதிகமான நீர்த்தேக்கங்களை ஒன்று அல்லது அதற்கு அதிகமான சந்திப்புகள் (junctions) மூலம் இணைக்கும் அமைப்பிற்கு கிளைக் குழாய் அமைப்பு எனப் பெயர்.



படம் 9·16. மூன்று நீர்த்தேக்கங்களும் ஒரு சந்திப்பும்

மூன்று நீர்த்தேக்கங்களை ஒரு சந்திப்பில் இணைக்கும் எளிதான கிளைக் குழாய் அமைப்பு படம் 9·16-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த அமைப்பின் ஒவ்வொரு குழாயிலும் நீரின் பாயுவீதத்தையும்

திசையையும் அறிய வேண்டும். இதிலுள்ள ஒவ்வொரு குழாயிற்கும் அதன் சம்மதிப்பு நீளமும் உராய்வுக் கெழுவும் தெரியுமென எடுத்துக்கொள்வோம். அந்த நீர்த்தேக்கங்களில் நீரின் பரப்பு அவற்றிலிருந்து நீர் வெளியேற்றல் அல்லது நீர் உட்புகுதலால் மாறுவதில்லை என்றும், குழாய்களில் நிலையான ஓட்டம் ஏற்படுகின்றன என்றும் எடுத்துக்கொள்வோம். குழாய்களில் ஓடும் பாயுவீதத்தைக் கணக்கிட கீழ்க்கண்ட கொள்கைகளைக் கையாளவேண்டும்.

(1) எந்த ஒரு சந்திப்பிலும் வரும் பாயுவீதம் வெளியேறும் பாயுவீதத்திற்குச் சமம் என்ற தொடர் சமன்பாடு.

(2) டார்ஸி சமன்பாடு கிளைக் குழாய் அமைப்பிலுள்ள ஒவ்வொரு குழாய்க்கும் பொருந்தும்.

(3) எந்த ஒரு புள்ளியிலும் ஒரே ஒரு மதிப்புள்ள குழாய் மானி உயரம் மட்டும் நிலவ முடியும். எனவே, எந்த ஒரு சந்திப்பிலும் ஒரே ஒரு மதிப்புள்ள குழாய்மானி உயரம் இருக்கும்.

(4) குழாய்மானி உயரம் குறையும் திசையில் பாய்ச்சல் ஏற்படும்.

இந்த அமைப்புபற்றி பொதுவாகக் கேட்கப்படும் கேள்விகளை மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். குழாயின் விட்டம், சமமதிப்பு நீளம், உராய்வுக் கெழுவின் மதிப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன என எடுத்துக்கொள்வோம்.

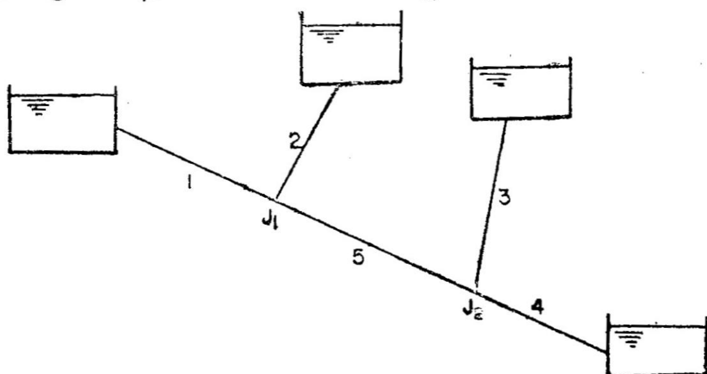
(1) A, B, C என்ற மூன்று நீர்த்தேக்கங்களிலுள்ள நீரின் மேற்பரப்பின் மட்டங்கள் கொடுக்கப்பட்டு, ஏதாவது ஒரு குழாயில் நீரின் பாயுவீதமும் திசையும் கொடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. மற்றக் குழாய்களில் நீரின் பாயுவீதங்களையும் திசைகளையும் கணக்கிட வேண்டியதிருக்கின்றன.

இந்த மாதிரியான கணக்குகளில் ஒரு குழாயில் தேவையான புள்ளிவிபரங்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளபடியால் குழாயில் ஏற்படும் h_f-ஐக் கணக்கிடலாம். அதிலிருந்து சந்திப்பிலுள்ள குழாய்மானி உயரம் தெரியவரும். பின்னர் சந்திப்பிலுள்ள குழாய்மானியில் நீர்த்தேக்கத்திலுள்ள நீர்மட்டத்தைவிட அதிகமாக இருக்குமானல் நீரானது நீர்த்தேக்கத்தை நோக்கியும், அல்லாதபோது நீர்த்தேக்கத்திலிருந்து சந்திப்பை நோக்கியும் பாயும். டார்ஸி சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி குழாயிலேற்படும் திசைவேகத்தையும் பாயுவீதத்தையும் கணக்கிடலாம்.

(2) A, C என்ற நீர்த்தேக்கங்களில் நீரின் மட்டங்களும் குழாய் 2-ல் Q_2 என்ற பாயுவீதமும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. B என்ற நீர்த்தேக்கத்தின் நீர்மட்டமும், Q_1, Q_2 மதிப்புகளும் தேவைப்படுகின்றன.

(3) மூன்று நீர்த்தேக்கங்களிலுள்ள நீர்ப்பரப்பின் மட்டங் களும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அவற்றை இணைக்கும் குழாய்களில் ஏற்படும் பாயுவீதமும் அவற்றின் திசைகளும் தேவைப்படுகின்றன.

கடைசி இரண்டு வகைக் கணக்குகளில் சந்திப்பில் ஏற்படும் குழாய்மானித் தலைப்பை ஊகித்துக் கொண்டு Q_1, Q_2, Q_3 என்ற பாயுவீதங்கள் கணக்கிடப்படுகின்றன. இந்தப் பாயுவீதங்கள் சந் திப்பில் தொடர்ச் சமன்பாட்டைப் பூர்த்தி செய்கின்றனவா எனச் சோதிக்க வேண்டும்; அல்லாவிட்டால், திரும்பவும் வேறொரு குழாய்மானித் தலைப்பை சந்திப்பில் எடுத்துக் கொண்டு தொடர் சமன்பாடு பூர்த்தியாகும் வரை திரும்பத் திரும்ப கணிக்க வேண்டும். மூன்று வகைக் கணக்குகளுக்கும் பல ஒருங்கைச் சமன்பாடுகளை (simultaneous equations) ஏற்படுத்தி அவற்றிற்குத் தீர்வு காணு வதன் மூலம் தேவையான விடைகளை அடையலாம்.



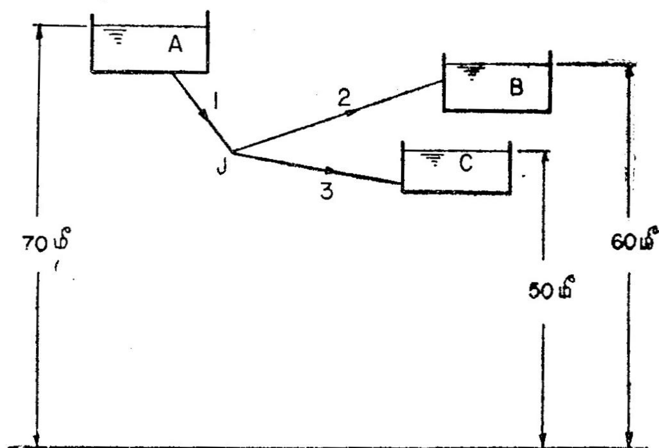
படம் 9·17. நான்கு நீர்த்தேக்கங்களும் இரண்டு சந்திப்புகளும்

நான்கு நீர்த்தேக்கங்களும், இரண்டு சந்திப்புகளும் உடைய அமைப்பு படம் 9·17-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. J_1 என்ற சந்திப்பில் ஊகிக்கப்பட்ட குழாய்மானித் தலைப்பிற்கு Q_1, Q_2, Q_5 என்ற பாயுவீதங்கள் கணக்கிடப்படுகின்றன. குழாய் 5-லுள்ள நீரியற் சரிவிலிருந்து J_2 என்ற குழாய்மானித் தலைப்பை அடையலாம். இந்தக் குழாய்மானித் தலைப்பிற்கு சந்திப்பு J_2-வில் தொடர்ச் சமன்பாடு பூர்த்தி செய்யப்படுகிறதா என்று சோதிக்கப் படுகிறது. பூர்த்தியாகாவிட்டால், J_1-ல் திரும்பவும் புதிய மதிப் புள்ள குழாய்மானித் தலைப்பு ஊகிக்கப்பட்டு இந்த முறை திரும்பத் திரும்ப கையாளப்படுகிறது.

ஏதாவது ஒரு குழாயில் பம்போ அல்லது டர்பைனே இருக்கு மானல் அதற்கேற்ப குழாய்மானி உயரத்திலேற்படும் மாற்றங்களை எடுத்துக்கொள்ள வேண்டும்.

மாதிரிக் கணக்கு 9·15. படத்திலுள்ள குழாய்களில் ஏற்படும் பாயுவீதத்தைக் கீழ்க்கண்ட புள்ளிவிபரங்களுக்குக் கணக்கிடு: A, B, C என்ற நீர்த்தேக்கங்களில் நீரின் மட்டங்கள் கொடுக்கப் பட்டுள்ளன. $l_1 = 700$ மீ, $l_2 = 1200$ மீ, $l_3 = 1000$ மீ; $D_1 = 400$ மிமீ, $D_2 = 300$ மிமீ, $D_3 = 200$ மிமீ. J என்ற சந்திப்பில் குழாய்மானித் தலைப்பைக் கணக்கிடு.

படத்திலுள்ளபடி நீர் பாயும் திசைகளை எடுத்துக்கொண்டால் சந்திப்பில் தொடர்ச் சமன்பாடானது,



$$V_1 D_1^2 = V_2 D_2^2 + V_3 D_3^2 \qquad (அ)$$

$$h_a - h_j = \frac{f l_1 V_1^2}{D_1 2g} = \frac{0 \cdot 02 \times 700 V_1^2}{0 \cdot 4 \times 2 \times 9 \cdot 81} = 1 \cdot 78 V_1^2 \qquad (ஆ)$$

$$h_j - h_b = \frac{0 \cdot 02 \times 1200 V_2^2}{0 \cdot 03 \times 2 \times 9 \cdot 81} = 4 \cdot 06 V_2^2 \qquad (இ)$$

$$h_j - h_c = \frac{0 \cdot 02 \times 1000 V_3^2}{0 \cdot 2 \times 2 \times 9 \cdot 81} = 5 \cdot 1 V_3^2 \qquad (ஈ)$$

(ஆ)வையும் (இ)யையும் கூட்டினல்,

$$10 = 1 \cdot 78 V_1^2 + 4 \cdot 06 V_2^2 \qquad (உ)$$

(ஆ)வையும் (ஈ)யையும் கூட்டினல்,

$$20 = 1 \cdot 78 V_1^2 + 5 \cdot 1 V_3^2 \qquad (ஊ)$$

(உ), (ஊ) என்ற சமன்பாட்டுகளிலிருந்து கிடைக்கும் V_2, V_3 என்றதிசைவேகங்களின் மதிப்புகளைச் சமன்பாடு(அ)-ல் இட்டால்,

$$0{\cdot}16V_1 = 0{\cdot}09(2{\cdot}47 - 0{\cdot}438V_1^2)^{\frac{1}{2}} + 0{\cdot}04(3{\cdot}92 - 0{\cdot}35V_1^2)^{\frac{1}{2}}$$

தீர்த்தால்,

$$V_1 = 1{\cdot}2 \text{ மீ/வி}$$
$$V_2 = 1{\cdot}35 \text{ மீ/வி}$$
$$V_3 = 1{\cdot}85 \text{ மீ/வி}$$

ஆதலால்,

$$Q_1 = \frac{\pi \times 0{\cdot}4^2}{4} \times 1{\cdot}2 = 0{\cdot}152 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

$$Q_2 = \frac{\pi \times 0{\cdot}3^2}{4} \times 1{\cdot}35 = 0{\cdot}094 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

$$Q_3 = \frac{\pi \times 0{\cdot}2^2}{4} \times 1{\cdot}85 = 0{\cdot}058 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

இப்போது

$$h_j = h_a - 1{\cdot}78\ V_1^2 = 70 - 1{\cdot}78 \times 1{\cdot}2^2$$
$$= 70 - 2{\cdot}56 = 67{\cdot}46 \text{ மீ.}$$

9·21. குழாய் வலை அமைப்புகள் (Pipe Networks)

ஒரு குழாய் அமைப்பில் பல சந்திப்புகளும் பல சுற்றுகளும் (circuits) இருக்குமானால் அதற்குக் குழாய் வலை அமைப்பு எனப் பெயர். இந்த மாதிரியான அமைப்புகள் நகர நீர் விநியோகத்திலும், இரசாயனத் தொழிற்சாலைகளிலும் சாதாரணமாக ஏற்படுகின்றன. குழாய் வலை அமைப்பு சம்பந்தமான கணக்குகளுக்கு முறைப்படி எளிதாகத் தீர்வு காண்பதற்கு ஹார்டி கிராஸ் (Hardy Cross) என்பவரால் கண்டறியப்பட்டு அவர் பெயரால் வழங்கப்படும் முறை கையாளப்படுகிறது. சமீப காலத்தில் இம்மாதிரியான கணக்குகளுக்கு மிகச் சீக்கிரமாகத் தீர்வுக் காண மின்கணித எந்திரங்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

கீழ்க்கண்ட நிபந்தனைகள் குழாய் வலை அமைப்பில் பூர்த்தி செய்யப்பட வேண்டும்.

1. ஒவ்வொரு சந்திப்பிலும் தொடர்ச் சமன்பாடு சரியாக இருக்கவேண்டும்.

2. ஒவ்வொரு குழாய் நீளத்திற்கும் டார்ஸி சமன்பாடு சரியாக இருக்கவேண்டும்.

3. ஒவ்வொரு சுற்றிலும் ஏற்படும் அழுத்தக் குறைவுகளின் இயற்கணிதக் கூட்டல் (algebraic sum) சுழியாக இருக்க வேண்டும்.

ஒரு குழாய் நீளத்தில் ஏற்படும் மொத்த ஆற்றலிழப்பு உயரத்தை வசதிக்காகக் கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடுகிறோம்.

$$h_L = rQ^n$$

இதில் Q என்பது அக்குழாயின் வழி ஏற்படும் பாயுவீதத்தையும், h_L அக்குழாயில் ஏற்படும் மொத்த ஆற்றலிழப்பு உயரத்தையும் குறிக்கின்றன.

முதற்கண் பொறுத்தமான பாயுவீதம் ஏதாவது ஒரு சுற்றில் தொடர் சமன்பாட்டைப் பூர்த்தி செய்யும்படி எடுத்துக்கொள்ளப் படுகிறது. இப்போது $\sum rQ^n = 0$ என்பதும் ஒரு நிபந்தனையாகும். இந்த நிபந்தனை பூர்த்தி செய்யப்படாவிட்டால் அதிலிலுள்ள தவறுனது சரியாகும் வரை அந்தத தவற்றிற்கு திருத்தம் திரும்பத் திரும்ப செய்யப்படுகிறது. இந்த முறை கீழே விளக்கப்பட்டிருக் கிறது.

ஒரு வலையமைப்பிலுள்ள சுற்றில் பாயுவீதம் Q_0-ஆக இருப்பதாக அநுமானித்துக் கொள்வோம். ஆனல் உண்மையில் பாயுவீதம் Q-ஆக இருந்தால் அதனுல் ஏற்படும் திருத்தம் $\triangle Q = (Q - Q_0)$ ஆகும். இந்த வலையமைப்பில் ஏற்படும் ஆற்ற விழப்புத் தலைப்பு h_L-ஆக இருக்குமானுல்,

$$\sum h_L = \sum rQ^n = \sum r(Q_0 + \triangle Q)^n$$

உயர்ந்த அடுக்குக் குறியுள்ள $\triangle Q$ உறுப்புகளை புறக்கணித்து விட்டால்,

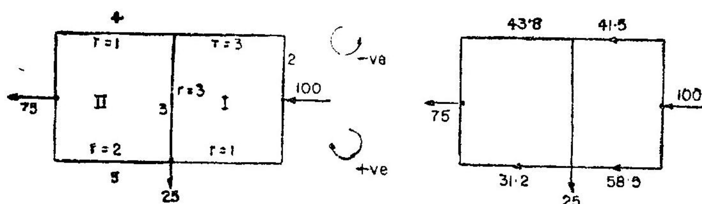
$$\sum h_L = \sum rQ_0{}^n + Q\sum rnQ_0{}^{n-1}$$

$\sum h_L = 0$-ஆக இருப்பதால்,

$$Q = \frac{-\sum rQ_0{}^n}{\sum rn\,Q_0{}^{n-1}} \qquad (9\cdot35)$$

இதில் $\sum rQ_0{}^n$ என்பது ஒரு சுற்றில் ஏற்படும் இழப்புத் தலைப்பின் இயற்கணிதக் கூட்டுத் தொகையாகும். வலஞ்சுழியை நேர் என்றும், இடஞ்சுழியை எதிர் என்றும் எடுத்துக் கொள்வோம். இப்போது $\sum rnQ^{n-1}$-ன் மதிப்பு நேராக இருக்குமானுல் $\triangle Q$ என்ற திருத்தம் எதிர் மதிப்புடையதாக இருந்தால் இடஞ்சுழியாக வும், நேராக இருந்தால் வலஞ்சுழியாகவும் கையாள வேண்டும். இந்த முறையைக் கையாளும் முறை மாதிரிக் கணக்கு 9·16-ல் விளக்கப்பட்டிருக்கிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 9·16. படத்திலுள்ள குழாய் வலையமைப்பில் ஒவ்வொரு குழாயிலும் ஏற்படும் பாயுவீதத்தைக் கணக்கிடுக. $n=2·0$.



வலஞ்சுழியாக உள்ள ஓட்டம் நேராகவும், இடஞ்சுழியாக உள்ள ஓட்டம் எதிராகவும் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது. இந்த வலையமைப்பை I, II என்ற இரண்டு சுற்றுகளாக, வசதிக் காக, படத்திலுள்ளபடி பிரித்துக் கொள்ளலாம். அட்டவணையில் கொடுத்துள்ளபடி முதலில் Q_1' என்ற பாயுவீதம் சுற்றில் போவ தாக ஊகித்துக்கொள்ளப்படுகிறது. பின்னர் இதற்கு அளிக்கப் படவேண்டிய திருத்தம் கணிக்கப்பட்டு Q_2' என்ற பாயுவீதம் அடையப்படுகிறது. இந்த முறையானது திருத்தம் சுழிக்குச் சமீப மாக குறையும் வரை திரும்பத் திரும்ப கையாளப்படுகிறது. விடையானது கடைசி படைவரிசையில் (column) காட்டப் பட்டுள்ளது.

சுற்று	குழாய்	r	Q_1'	$rQ_1'^2$	$2rQ$	ΔQ
I	1	1	56	3136	112	
	2	2	—44	—3872	176	$\frac{-65}{378}$
	3	3	15	675	90	≈ 0
				—65	378	
II	3	3	—15	—675	90	$\frac{-3643}{272}$
	4	1	—59	—3481	118	
	5	2	16	512	64	$=-13·5$
				—3643	272	

Q_2'	$rQ_2'^2$	$2rQ_2'$	$\triangle Q$	Q_3	rQ_3	$2rQ_3$	$\triangle Q$
56	3136	112		58·5	3420	117	
—44	—3872	176	$\frac{-729}{297}$	—41·5	—3440	166	≈ 0
1·5	6·75	9	$=2·5$	+2·5	+19	15	
	—729	297			—1	298	
—1·5	—6·75	9		—2·5	—19	16	≈ 0
45·5	—2070	91	$\frac{-337}{218}$	44	—1940	88	
29·5	1740	118	$= -1·5$	31	1920	124	
	—337	218			—39	227	

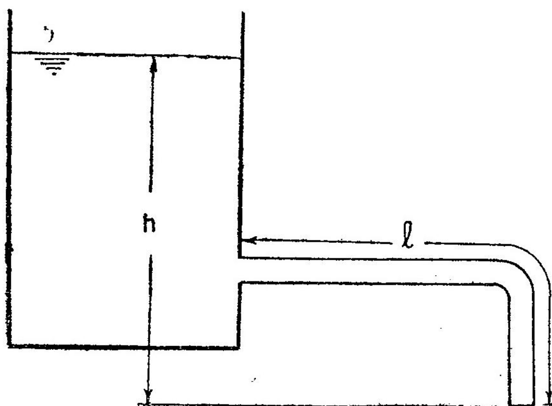
ஆகவே, Q_3 பாயுவீதம் ஒவ்வொரு குழாயிலும் ஏற்படுகிறது.

9·22. குழாய்களில் நிலையற்ற ஓட்டங்கள்

குழாய்களில் ஏற்படும் நிலையற்ற ஓட்டங்களை இரு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். 1. நிலையற்ற ஓட்டத்தால் ஏற்படும் திசைவேக வேறுபாடும், அழுத்த மாற்றமும் மிகக் குறைவாக இருக்கும் நிலைகள். இதற்கு ஒரு தொட்டியில் இணைக்கப்பட்டுள்ள நீண்ட குழாய் வழியாக நீரை வெளிப்படுத்தல், அல்லது இரண்டு திரவத் தொட்டிகளை ஒரு நீண்ட குழாயால் இணைத்து அந்தத் தொட்டிகளிலுள்ள நீர்மட்ட வேறுபாட்டைக் குறைத்தல் ஆகியவைகள் நல்ல எடுத்துக்காட்டுகளாகும். நிலையான ஓட்டங்களுக்கான சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்தி இந்த வகைக் கணக்குகளுக்குத் தீர்வு காணலாம். 2. நிலையற்ற ஓட்டத்தால் ஏற்படும் முடுக்கமும் அதன் விளைவுகளும் மிகப் பெரியதாக உள்ள நிலைகள். குழாயின் வழியாகப் பாய்மம் பாய்ந்து கொண்டிருக்கும்போது வால்வை மூடுதல் இதற்கு ஒரு நல்ல உதாரணமாகும். இதனால் ஏற்படும் விளைவிற்கு நீர்சம்மட்டி அடி (water hammer) எனப் பெயர்.

9·23. குழாயின் மூலம் தொட்டியைக் காலி செய்யத் தேவையான நேரம்

சீரான குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு A உள்ள தொட்டியில் h உயரத்திற்குத் திரவம் இருக்கட்டும். அந்தத் தொட்டியின்



படம் 9·18. தொட்டியிலிருந்து நீண்ட குழாய்

அடியிலுள்ள *l* நீளம் d விட்டமுள்ள குழாயின் வழியாகத் திரவம் வடிவதாக எடுத்துக் கொள்வோம். உராய்வு, நுழைவு, வெளியேறு இழப்புகளை எடுத்துக்கொண்டால் படம் 9·18-ல் காட்டப்பட்ட அமைப்பிற்கு,

$$\left(\frac{flV^2}{2gd}+0\cdot5\frac{V^2}{2g}+\frac{V^2}{2g}\right)=h$$

(அ-து) $V=\frac{1}{K}\sqrt{2gh}$ இதில் $K^2=\left(\frac{fl}{d}+1\cdot5\right)$

dt என்ற நேரத்தில் தொட்டியில் திரவம் $-dh$ அளவு குறையுமானல் வெளியேறும் பாயுவீதத்திற்கான வகையீட்டுச் சமன்பாடானது,

$$-Adh=\frac{\pi d^2 Vdt}{4}$$

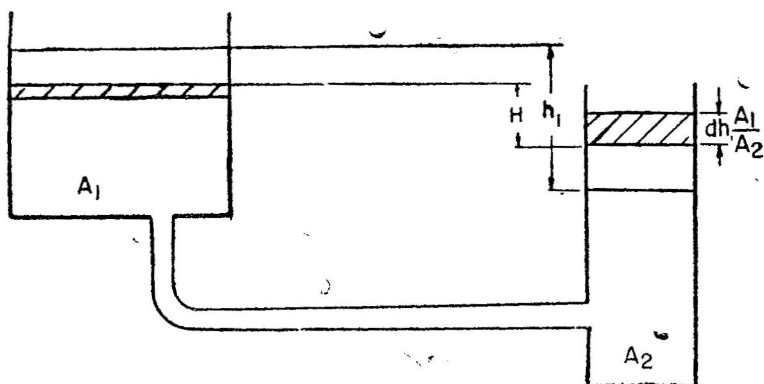
$$-Adh=\frac{\pi d^2}{4}\frac{\sqrt{2g}}{K}h^{\frac{1}{2}}dt$$

$$\therefore \quad t=\int dt=\int_{h_1}^{h_2}\frac{4KA}{\pi d^2\sqrt{2g}}h^{-\frac{1}{2}}dt$$

$$= \frac{8\left(\frac{fl}{d}+1{\cdot}5\right)A}{\pi d^2\sqrt{2g}}\left(h_1^{\frac{1}{2}}-h_2^{\frac{1}{2}}\right) \qquad (9{\cdot}36)$$

9·24. இரண்டு தொட்டிகளுக்கிடையேயுள்ள குழாயில் ஓட்டம்

A_1, A_2 குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள இரண்டு தொட்டிகளையும் D விட்டம், l நீளமுள்ள குழாய் படம் 9·19-ல் உள்ளபடி இணைக்கிறது. இவற்றிற்கிடையேயுள்ள திரவ மட்ட வேறுபாட்டை h_1-லிருந்து h_2-ஆகக் குறைக்க என்ன நேரமாகுமெனக் கணக்கிட வேண்டியதிருக்கிறது. படத்திலுள்ளபடி திரவ மட்ட வேறுபாடு H-ஆக இருக்கும்போது,



படம் 9·19. இரண்டு தொட்டிகளை ஒரு நீளக் குழாய் இணைத்தல்

$$dH = dh + dh\frac{A_1}{A_2}$$

$$= \left(1+\frac{A_1}{A_2}\right)dh$$

குழாயில் ஏற்படும் உராய்வு இழப்போடு, நுழைவு, வெளியேறு இழப்புகளையும் எடுத்துக்கொண்டால்,

$$H = \frac{V^2}{2g}\left(0{\cdot}5+1{\cdot}0+\frac{fl}{D}\right)$$

$$\therefore \quad V = \frac{\sqrt{2gH}}{K} \quad \text{இதில்} \quad K^2 = \left(1{\cdot}5+\frac{fl}{D}\right)$$

பாயுவீதத்திற்கான வகையீட்டுச் சமன்பாடானது,

$$-A_1 dh = \frac{\pi D^2}{4} \frac{\sqrt{2gH}}{K} dt$$

$$dt = \frac{-4KA_1}{\pi D^2 \sqrt{2g}} \frac{1}{\left(1+\frac{A_1}{A_2}\right)} H^{\frac{1}{2}} dH$$

தொகையிட்டால்,

$$t = \frac{-4KA_1}{\pi D^2 \sqrt{2g}} \frac{1}{\left(1+\frac{A_1}{A_2}\right)} \int_{h_1}^{h_2} H^{-\frac{1}{2}} dH$$

$$= \frac{8\left(1\cdot5+\frac{fl}{D}\right)^{\frac{1}{2}}}{\pi D^2 \sqrt{2g}\left(\frac{1}{A_1}+\frac{1}{A_2}\right)} \left(h_1^{\frac{1}{2}} - h_2^{\frac{1}{2}}\right) \quad (9\cdot37)$$

இதில் A_2-வின் பரப்பு மிகப் பெரியதாக இருந்தால்,

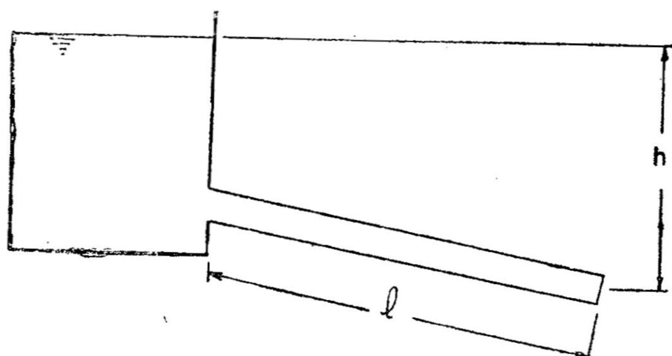
$$t = \frac{8A\sqrt{1\cdot5+\frac{fl}{D}}}{\pi D^2 \sqrt{2g}} \left(h_1^{\frac{1}{2}} - h_2^{\frac{1}{2}}\right)$$

9·25. ஓட்ட நிலைநாட்டம் (Establishment of Flow)

ஒரு பெரிய நீர்த்தேக்கத்தில் இணைக்கப்பட்டுள்ள நீளமான குழாயின் இறுதியிலுள்ள வால்வு திடீரென முழுவதும் திறக்கப் பட்டால் அந்தக் குழாயில் திசைவேகம் நிலையான மதிப்பை அடைய ஓரளவு நேரமாகிறது. இந்த நிலையான திசைவேகத்தை அடைவதற்கான நேரத்தை ஓட்ட நிலைநாட்ட நேரம் (time for establishment of flow) என்கிறோம்.

சீரான குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள பெரிய தொட்டியில் l நீளம், D விட்டமுள்ள குழாயின் இறுதியில் ஒரு வால்வு அமைக்கப்பட்டிருக்கிறது. (படம் 9·20.) அந்த வால்வு திடீரென்று முழுவதும் திறக்கப்பட்டால் தொட்டியிலுள்ள தலைப்பு h முழு வதும் குழாயிலுள்ள நிறை ρal-ஐ முடுக்குகிறது. குழாயில் ஏற்படும் உராய்வு முதலிய இழப்புகளுக்கேற்ப படிப்படியாகக் குழாயில் திசைவேகம் உயர்ந்து கடைசியில் நிலையான V_0 என்ற மதிப்பை அடைகிறது. இந்தக் குழாயிலுள்ள திரவத்திலேற்படும்

முடுக்கம் வால்வு திறக்கப்பட்டதும் உச்சமாக இருக்கும். பின்னர் திசைவேகம் அதிகரிக்க இந்த முடுக்கத்தின் மதிப்பு குறைகிறது.



படம் 9·20. ஓட்ட நிலைநாட்டம்

குழாயில் ஏற்படும் எல்லா இழப்புகளுக்கும் வெளியேறு திசைவேகத்திற்குமான சமமதிப்பு நீளம் l_e ஆக இருக்கட்டும். இந்தக் குழாயில் நிலையான திசைவேகம் V_0-ஆக இருக்கும்போது மொத்தத் தலைப்பான h முழுவதும் குழாயில் ஏற்படும் இழப்புகளைச் சரிக்கட்டத் தேவைப்படுகிறது. எனவே,

$$h = \frac{f l_e V_o^2}{2gD} \tag{9·38}$$

குழாயில் திசைவேகம் V-ஆக இருக்கும்போது, குழாயிலுள்ள பொருண்மையை முடுக்கும் புறவிசையானது $wA\left(h - \frac{f l_e V^2}{2gD}\right)$ ஆகும். இந்த விசையே ρal என்ற பொருண்மையை $\frac{dV}{dt}$ என்ற முடுக்கத்திற்கு உள்ளாக்குகிறது. நியூட்டனின் இரண்டாவது இயக்க விதியிலிருந்து,

$$wa\left(h - \frac{f l_e V^2}{2gD}\right) = \rho al \frac{dV}{dt}$$

சமன்பாடு 9-38-ஐ இட்டு சீர்படுத்தினல்

$$t = \int_0^t dt = \frac{l V_o^2}{gh} \int_0^V \frac{dV}{V_o^2 - V^2}$$

தொகையிட்டால்,

$$t=\frac{lV_{\circ}}{2gh}\log_e\frac{V_{\circ}+V}{V_{\circ}-V} \qquad (9\cdot39)$$

சமன்பாடு 9·39-ல் உள்ளபடி திசைவேகம் அதன் உச்ச மதிப்பான V_0-வை அடைய வரம்பிலா நேரம் தேவைப்படும். ஆனால் V-யின் மதிப்பு 0·99 V_0-ஆக இருக்கும்போது,

$$t=\frac{lV_{\circ}}{2gh}\log_e\frac{1\cdot99}{0\cdot01}$$

$$\therefore \quad t=2\cdot65\,\frac{lV_{\circ}}{gh} \qquad (9\cdot40)$$

சமன்பாடு 9·40, அமுக்கமற்ற பாய்ம ஓட்டங்கள் திடமான(rigid) குழாயில் நிகழுவதற்கு மட்டுமே பொருந்தும். ஆனால் உண்மையில் எந்தக் குழாயும் முழுக்க முழுக்க திடமானதன்று; அதேபோல் எத்திரவமும் சிறிது அமுக்கத்திற்குட்பட்டது. •திரவங்களுக்கும் சிறிதளவு மீட்சித்தன்மை (elasticity) உண்டு. எனவே, சமன்பாடு 9·40-லிருந்து கிடைக்கும் நேரத்திற்கு முன்னதாகவே பாய்ச்சல் நிலைநாட்டம் பெறும்.

மாதிரிக் கணக்கு 9·17. 0·5 மீ விட்டம், 4000 மீ நீளமுள்ள குழாய் ஒரு பெரிய நீர்த்தேக்கத்திலிருந்து 10 மீ தலைப்பில் நீரைக் கடத்துகிறது. $f=0\cdot02$; இடஞ்சார்ந்த இழப்பு 20 $\frac{V^2}{2g}$.பாய்ச்சல் நிலைநாட்டம் பெறத் தேவையான நேரம் என்ன?

$$l_e=4000+\frac{20\times0\cdot5}{0\cdot02}=4500 \text{ மீ}$$

சமன்பாடு 9·38-ஐப் பயன்படுத்தினால்,

$$V_{\circ}=\sqrt{\frac{2ghD}{fl_e}}=\sqrt{\frac{2\times9\cdot81\times10\times0\cdot5}{0\cdot02\times4500}}$$

$$=1\cdot04 \text{ மீ/வி}$$

பாய்ச்சலானது $V=0\cdot99\ V_0$-ஆக இருக்கும்போது முழுவதும் நிலைநாட்டம் அடைந்துவிட்டது எனக் கொண்டால்,

$$t=\frac{2\cdot65\times4000\times1\cdot04}{9\cdot81\times10}$$

$$=111 \text{ வினாடிகள்.}$$

9·26. நீர்ச்சம்மட்டி அடி (Water Hammer)

குழாய்ப் பாய்ச்சலிலுள்ள திசைவேக மாறுபாட்டால் அதிலுள்ள நீரின் உந்தம் மாறுகிறது, இந்த உந்த வேறுபாட்டால் அழுத்தம் அதிகரிக்கிறது. இந்த அழுத்த அதிகரிப்பு குழாய் முழுவதும் உடனே திடீரென ஏற்படுவதில்லை. பாய்மமும், குழாய்ச் சுவரும் மீட்சித்தன்மை உடையனவாதலால் இந்த அழுத்தமானது அலைபோன்று பாய்மத்தில் எதிர்நோக்கியும், பின்னர் நேர்திசையிலும் மாறி மாறிப் பரவுகிறது. இந்த அழுத்த எழுச்சிக்கு (pressure surge) நீர்ச்சம்மட்டி அடி எனப் பெயர். இந்த நிலை எல்லாப் பாய்மங்களிலும் ஏற்படும். இந்த அழுத்த எழுச்சியின் மதிப்பு திசைவேகம் மாறும் வீதத்தைப் பொருத்தது.

9·27. திடீர் திசைவேக மாற்றத்தால் ஏற்படும் அழுத்த அதிகரிப்பு

a குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பும், l நீளமும் உள்ள குழாயின் இறுதியிலுள்ள வால்வு, குழாயில் பாய்மம் பாயும்போது திடீரென மூடப்படுவதாக எடுத்துக் கொள்வோம். உராய்வைப் புறக்கணித்துவிட்டு குழாயின் சுவர்கள் திடமானவை (rigid) எனக் கொண்டு, இவ்வாறு திசைவேகம் திடீரெனச் சுழியாகப்படுவதால் ஏற்படும் அழுத்த அதிகரிப்பைக் கணக்கிடுவோம். ஒரு அலகு பருமனளவு பாய்மத்தில் ஏற்படும் இயக்க ஆற்றலிழப்பி(loss of kinetic energy)லிருந்து அழுத்த அதிகரிப்பான $\triangle p$-யைக் கணக்கிடலாம். வால்வைத் திடீரென மூடும்போது குழாயிலுள்ள பாய்மத்தின் திசைவேகம் V-ஆக இருக்குமானால் ஒரு அலகு பருமனுள்ள பாய்மத்தில்,

$$\text{இயக்க ஆற்றலிழப்பு} = \rho \frac{V^2}{2}$$

$$\left.\begin{array}{r}\text{ஒரு அலகு பருமனில் திரிபுஆற்றலின் அதிகரிப்பு} \\ \text{(gain in strain energy)}\end{array}\right\} = \frac{\triangle p^2}{2K}$$

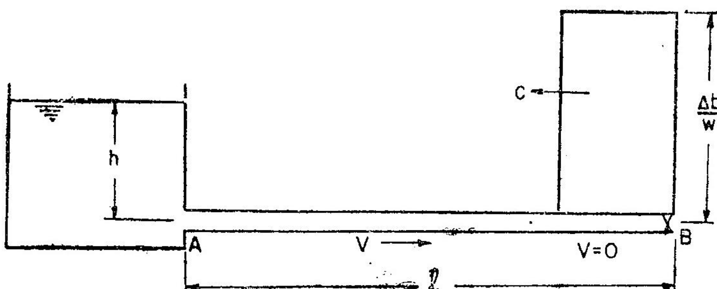
இதில் K என்பது பரும மீட்சிக் குணகத்தையும் (bulk modulus), $\triangle p$ அழுத்த அதிகரிப்பையும் குறிக்கின்றன. இரண்டையும் சமன்படுத்தினால்,

$$\frac{\triangle p^2}{2K} = \frac{\rho V^2}{2}$$

$$\therefore \quad \triangle p = V\sqrt{K\rho} = \rho V c$$

இதில் $c = \sqrt{\dfrac{k}{\rho}}$. c ஆனது அந்தப் பாய்மத்தில் ஏற்படும் ஒலித் திசைவேகமாகும். இந்த அழுத்த அதிகரிப்பு படம் 9·21-ல்

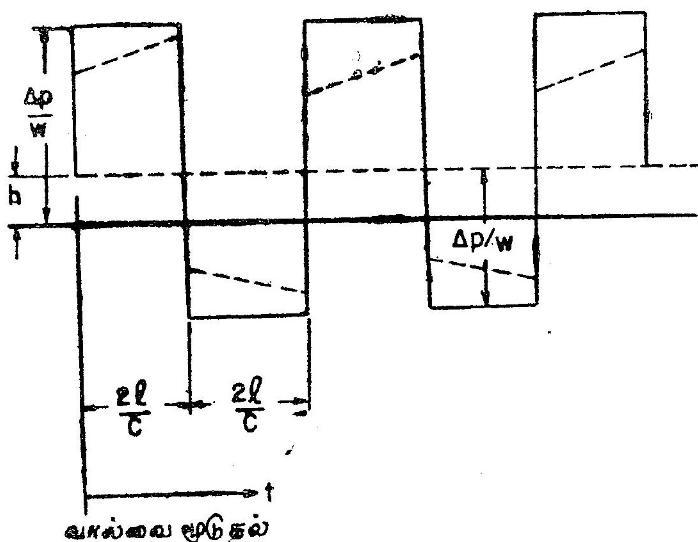
காட்டப்பட்டுள்ளது. இது வரும் பாய்மத்திற்கு எதிராக அதன் திசைவேகத்தைச் சுழியாகஆக்கிக்கொண்டுமுன்னேறிதொட்டியை



படம் 9·21. திடீர் அடைப்பால் அழுத்த அதிகரிப்பு

$t=\frac{l}{c}$ என்ற நேரத்தில் அடைகிறது. அந்தத் தொட்டியின் பரப்பு குழாயின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பைவிட பன்மடங்கு பெரியதாக இருக்கட்டும். எனவே, தொட்டியில் திசைவேகம் சுழியெனக் கொள்ளலாம். ஆதலால் தொட்டியிலுள்ள தலைப்பில் எவ்வித மாறுபாடும் ஏற்படுவதில்லை. எனவே, $t=\frac{l}{c}$ என்ற நேர இறுதியில் AB என்ற குழாய் முழுவதுமாக அழுத்தத் தலைப்பானது $\frac{\Delta p}{w}$ ஆக இருக்கும்; திசைவேகமும் சுழியாக இருக்கும். இந்தத் தலைப்பானது தொட்டியிலுள்ள தலைப்பான h-ஐவிடப் பெரியதாக இருக்கும். எனவே, பாய்மமானது தொட்டியை நோக்கி ஒரு விரிவு அலையாக (expansion wave) c என்ற திசைவேகத்தில் பரவுகிறது. ஆகையால் $t=\frac{2l}{c}$ என்ற நேரத்தில் குழாய் முழுவதும் அழுத்தமானது வால்வை மூடுவதற்கு முன்னுள்ள நிலையை அடைந்து, V என்ற திசைவேகத்தில் பாய்மம் தொட்டியை நோக்கிப் பாய ஆரம்பிக்கிறது. வால்வு மூடியிருப்பதால் பாய்மம் பின் நோக்கி தொடர்வாகப் பாய்வதற்கு வாய்ப்பில்லை; B என்ற இடத்தில் அழுத்தம் குறிக் கோட்டிற்கும் (reference line) கீழே இறங்குகிறது. இவ்வாறு B-யில் ஏற்பட்ட எதிர் அழுத்தம் (negative pressure) அலையாக B-யிலிருந்து A-க்கு C திசைவேகத்தில் $t=\frac{3l}{c}$ என்ற நேரத்தின் முடிவில் செல்கிறது. எனவே, குழாய் முழுவதும் அழுத்தமானது $-\frac{\Delta p}{w}$ என்ற தலைப்பிற்குக் குறைகிறது.

தொட்டியிலுள்ள தலைப்பு அதிகமாக இருப்பதால் பாய்மம் V திசைவேகத்தில் திரும்பவும் குழாயில் பாய எத்தனிக்கிறது. இந்த அலை குழாயின் இறுதி B-யை $\frac{4l}{c}$ என்ற நேரத்தின் முடிவில் அடைகிறது. எனவே, $t=\frac{4l}{c}$-ஆக இருக்கும்போது வால்வை அடைக்கும் போது உள்ள நிலையை அடைகிறோம். இதன் விபரம் படம் 9·22-ல்



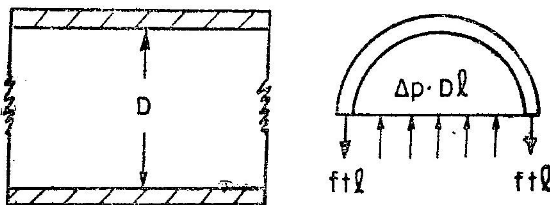
படம் 9·22. அழுத்த வேறுபாடு

காட்டப்பட்டுள்ளது. எவ்வாறு பாய்ம உராய்வும், குழாயின் சுவரிலுள்ள மீட்சித் தன்மையும் படிப்படியாக இந்த அழுத்த மாறுதலைக் குறைக்கிறது என்பதும் படத்தில் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

9·28. குழாய் மீட்சித் தன்மையின் விளைவு

படம் 9·21-ல் உள்ள குழாய் மீட்சித் தன்மையுள்ளது என எடுத்துக் கொள்வோம். அந்தக் குழாயின் சுவர்க் கனமான t, குழாயின் விட்டத்தோடு ஒப்பிடும்போது சிறியதாக இருக்கட்டும். இதனால் சுற்றளவுத் தகைவு (circumferential stress) சீராக இருக்கும். இப்போது குழாயிலுள்ள பாய்மத்தின் பொருண்மையில் ஏற்படும் இயக்க ஆற்றலிழப்பானது அந்தக் குழாயின் சுவரை விரிக்கத் தேவைப்படும் ஆற்றல், குழாயிலுள்ள பாய்மத்தில்

சேகரித்து வைக்கப்படும் திரிபு ஆற்றல் (strain energy) ஆகிய இரண்டின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும்.



படம் 9·23. அழுத்த அதிகரிப்பால் குழாயில் தகைவு

படம் 9·23-ல் உள்ளபடி சுற்றளவுத் தகைவு f ஆகவும், பாய்மத்தில் அழுத்த அதிகரிப்பு p ஆகவும் இருக்கட்டும். ஒரு அலகு பருமனவுள்ள குழாய் சுவரிலுள்ள ஆற்றலளவு $\frac{f^2}{2E}$ ஆகும். ஆற்றல்களைச் சமன்படுத்தினல்,

$$\tfrac{1}{2}\rho V^2 \frac{\pi D^2}{4} l = \tfrac{1}{2}\frac{p^2}{E}\frac{\pi D^2}{4} l + \tfrac{1}{2}\frac{f^2}{E}\pi D l t$$

ஆனல் $f = \frac{pD}{2t}$

$$\therefore \quad p = \frac{V\sqrt{K\rho}}{\sqrt{1+\frac{KD}{Et}}} \qquad (9{\cdot}41)$$

எனவே, திடமான குழாயைவிட அழுத்த அதிகரிப்பு குறைவாக உள்ளது.

சமன்பாடு 9·41-லிருந்து மீட்சித் தன்மையுள்ள குழாய்களில் அழுத்த அலையானது கீழ்க்கண்ட திசைவேகத்தில் பரவும் என காண்பிக்கலாம்.

$$C = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1+\frac{KD}{Et}}} \qquad (9{\cdot}42)$$

இதிலிருந்து குழாய் சுவரின் மீட்சித் தன்மையால் அழுத்தம் பரவும் வேகமும் குறைகிறது எனத் தெரிகிறது.

மாதிரிக் கணக்கு 9·18. 150 மிமீ உள்விட்டமும் 15 மிமீ சுவர்க் கனமும் உள்ள வார்ப்பிரும்புக் குழாயில் நீர் பாய்ந்து கொண்டிருக்கும்போது வால்வு திடீரென மூடப்படுகிறது. குழாயின் சுவரில் தகைவு 200 கிகிஎ/செமீ^{2}-க்கு அதிகமாகக் கூடா தென்றால், அந்த குழாயில் நீரின் உச்சத் திசைவேகத்தின் மதிப்பு என்ன? $E_s = 132 \times 10^8$ கிகிஎ/மீ^{2} ; $K = 220 \times 10^6$ கிகிஎ/மீ^{2}.

சமன்பாடு 9·42-ல், $\Delta p = \dfrac{2ft}{D}$ என்பதை இட்டால்,

$$V = \frac{\dfrac{2ft}{}\sqrt{1+\dfrac{KD}{Et}}}{D\sqrt{K\rho}}$$

இப்போது $f = 200 \times 10^4$ கிகிஎ/மீ^{2}

$$\rho = \frac{1000}{9{\cdot}81} \text{ கிகி/மீ}^3$$

$t = 0{\cdot}015$ மீ

$D = 0{\cdot}15$ மீ

$E = 132 \times 10^8$ கிகிஎ/மீ^{2}

$K = 220 \times 10^6$ கிகிஎ/மீ^{2}

எனவே,

$$V = \frac{2 \times 200 \times 10^4 \times 0{\cdot}015\sqrt{1+\dfrac{220\times10^6\times0{\cdot}15}{132\times10^8\times0{\cdot}015}}}{0{\cdot}15\sqrt{220\times10^6\times\dfrac{1000}{9{\cdot}81}}}$$

$= 3{\cdot}15$ மீ/வி

எனவே, உச்சப் பாயுவிதம் $= \dfrac{\pi d^2}{4}V = \dfrac{\pi \times 0{\cdot}15^2}{4} \times 3{\cdot}15$

$= 0{\cdot}0555$ மீ^{3}/வி

$= 55{\cdot}5$ லி/வி.

9·29. படிப்படியாக வால்வை மூடுதல் (Gradual Closure of Valve)

l நீளமுள்ள குழாயின் இறுதியிலுள்ள வால்வை மூடுவதற்கு நேரம் $\dfrac{2l}{c}$-யைவிட அதிகமானால் அழுத்த அலையானது வால்வு மூடப்படுவதற்கு முன் திரும்பி வந்துவிடும். எனவே, அழுத்த

அலையின் ஒரு பகுதி மூடப்படாத வால்வு வழியாக வெளியேறி விடும். ஆகையால் அழுத்த அதிகரிப்பு சமன்பாடு 9·14-ல் உள்ள படி அவ்வளவு இருக்காது. உந்தக் கொள்கைப்படி,

$$\triangle p = \rho l \frac{dV}{dt} \tag{9·43}$$

இதில் dt என்பது வால்வை மூடுவதற்கான நேரம்.

மாதிரிக் கணக்கு 9·19. 200 மீ நீளமுள்ள திடமான குழாயில் நீரின் திசைவேகம் 3 மீ/வி. அந்தக் குழாயின் இறுதியிலுள்ள வால்வை மூட 2 வினுடிகள் ஆகின்றன. இதனுல் ஏற்படும் அழுத்த அதிகரிப்பை அந்த வால்வு திடீரென மூடப்படுவதுடன் ஒப்பிடு.

நீரில் ஒலித் திசைவேகம் $c = 1460$ மீ/வி

திடீரென ஏற்படும் அழுத்த அதிகரிப்பு $= \triangle p = \rho Vc$

$$= 1000 \times 3 \times 1460$$

$$= 4·30 \times 10^6 \text{ நி/மீ}^2$$

இப்போது $\frac{2l}{c} = \frac{2 \times 200}{1460} < 2$

எனவே, வால்வு மூடப்படுவதை படிப்படியாக முடப்படுவதாகக் கருதலாம்.

இப்போது அழுத்த அதிகரிப்பானது,

$$\triangle p = 1000 \times 200 \times \tfrac{3}{2} = 3 \times 10^5 \text{ நி/மீ}^2.$$

9·30. குழாய் வழி திறனைக் கடத்தல்

நீரியற் திறனை நீரானது உயரமான இடத்திலிருந்து தாழ்வான இடத்திற்கு மாறுவதால் அடையலாம். குழாயின் வழியாகத் திறனைக் கடத்தும்போது உராய்வு, இடஞ்சார்ந்த இழப்பு முதலியவற்றுல் இறுதியில் கிடைக்கும் திறனின் அளவு குறைகிறது. கொடுக்கப்பட்டுள்ள விட்டம் D உள்ள குழாயின் வழியாக உச்ச திறனை கடத்துவதற்கான நிபந்தனையை இப்போது வருவிப்போம்.

கிடைக்கும் தலைப்பு $= H$-ஆக இருக்கட்டும்.

நீரைக் கடத்துவதில் ஏற்படும் இழப்பு $= KV^2$.

இதில் V என்பது குழாயின் வழியாக உச்ச திறன் கடத்தப்படும் போது ஏற்படும் திசைவேகமாகும்.

எனவே, குழாயின் முடிவில் கிடைக்கும் தலைப்பு $=(H-KV^2)$

எனவே, திறனானது $P=w\dfrac{\pi D^2}{4}\cdot V(H-KV^2)$

P-யின் மதிப்பு பெருமமாக இருக்க,

$$\frac{dP}{dV}=0$$

(அ-து) $$H-3KV^2=0$$

$$\therefore \quad KV^2=\frac{H}{3}$$

எனவே, கடத்தலில் ஏற்படும் மொத்த இழப்பு கிடைக்கும் தலைப்பில் மூன்றில் ஒரு பங்காக இருக்குமானால், பெரும அளவு திறன் கடத்தப்படுகிறது எனத் தெரிகிறது. கடத்தும் திறமானது 66·7% ஆகும். இந்த நிலையில் குழாயின் விட்டமும் சிறுமமாக இருக்கும்.

இந்தச் சிறும விட்டமானது விகித ஆதாயமுள்ள விட்டமாக (economic diameter) இருக்க வேண்டிய அவசியமில்லை. மேலும் இவ்வளவு குறைவான திறத்தில் பாய்மத்தைக் கடத்துவது நல்லதல்ல. இதைப் பற்றி பின்வரும் பகுதியில் படிப்போம்.

9·31. பெரும திறனுக்குக் குழாய்-முனை பரப்பு விகிதம்

குழாயில் ஏற்படும் இழப்பானது கிடைக்கும் தலைப்பில் மூன்றில் ஒரு பாகமாக இருக்கும்போது முனையின் நுழைவாயில் பெரும திறன் இருக்கும். இந்தக் கடத்தியில் ஏற்படும் இழப்பை சமமதிப்புக் குழாய் நீள அடிப்படையில் எழுதினால்,

$$h_f=\frac{fl_eV^2}{2gD}$$

இதில் h_f-ன் மதிப்பு $\frac{1}{3}H$-ஆக இருக்க வேண்டும். முனையிலிருந்து வெளியேறும் திசைவேகம் v-ஆக இருக்குமானால் முனையில் ஏற்படும் இழப்புகளைப் புறக்கணித்து விட்டால் முனையிலுள்ள தலைப்பு $\frac{2}{3}H$ ஆகும்.

எனவே,

$$\frac{v^2}{2g}=\frac{2fl_eV^2}{2gD}$$

$$\therefore \quad \frac{v}{V} = \sqrt{\frac{2fl_e}{D}}$$

(அ-து) $$\frac{D}{d} = \sqrt[4]{\frac{2fl_e}{D}} \qquad (9{\cdot}44)$$

மாதிரிக் கணக்கு 9·20. 30 மீ தலைப்பில், 0·3 மீ விட்டம் 300 மீ குழாயின் வழியாக நீரானது வளிமண்டலத்தில் பாய்கிறது. இந்தக் குழாயின் நீளத்தில் 4 வளைவுகள் இருக்கின்றன. அவ்வளைவு ஒவ்வொன்றிலும் ஏற்படும் இழப்பு $0{\cdot}1\ \frac{V^2}{2g}$ ஆகும். $f = 0{\cdot}024$ என எடுத்துக் கொண்டு பாயுவீதத்தை (1) முனை இல்லாமல், (2) 100 மிமீ விட்டமுள்ள முனையோடு கணக்கிடுக. பெரும திறன் முனையின் விட்டமென்ன? முனையில் ஏற்படும் இழப்பானது $0{\cdot}05\ \frac{v^2}{2g}$ ஆகும்.

முனை இல்லாமல்

$$30 = \frac{V^2}{2g} + \left(0{\cdot}5 + 0{\cdot}4 + \frac{0{\cdot}024 \times 300}{0{\cdot}3}\right)\frac{V^2}{2g}$$

$$\therefore \quad V = \sqrt{\frac{30 \times 2 \times 9{\cdot}81}{25{\cdot}9}} = 4{\cdot}77 \text{ மீ/வி}$$

$$\therefore \quad Q = \frac{\pi \times 0{\cdot}3^2}{4} \times 4{\cdot}77 = 0{\cdot}377 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

முனையோடு

$$30 = \frac{v^2}{2g} + \frac{0{\cdot}05v^2}{2g} + \left(0{\cdot}5 + 0{\cdot}4 + \frac{0{\cdot}024 \times 300}{0{\cdot}3}\right)\frac{V^2}{2g}$$

$$\text{ஆனல்} \quad v = \left(\frac{0{\cdot}3}{0{\cdot}1}\right)^2 V = 9V$$

இதை மேலே உள்ள சமன்பாட்டில் இட்டால்,

$$30 = 81\ \frac{V^2}{2g} + 4{\cdot}5\ \frac{V^2}{2g} + (0{\cdot}5 + 0{\cdot}4 + 24)\ \frac{V^2}{2g}$$

$$30 = 109\frac{V^2}{2g}$$

$$\therefore V = 2{\cdot}32 \text{ மீ/வி}$$

$$Q = \frac{\pi \times 0{\cdot}3^2}{4} \times 2{\cdot}32 = 0{\cdot}164 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

$$\text{குழாயில் ஏற்படும் இடஞ்சார்ந்த இழப்பு} = (0{\cdot}5+0{\cdot}4)\frac{V^2}{2g}$$

$$= 0{\cdot}9\frac{V^2}{2g}$$

$$\text{எனவே, சமமதிப்பு குழாய் நீளம்} = 300 + \frac{0{\cdot}9\times 0{\cdot}3}{0{\cdot}024} = 300+17{\cdot}3$$

$$= 311{\cdot}3 \text{ மீ}$$

பெரும திறனைக் கடத்த சமன்பாடு 9·45-ஐப் பயன்படுத்தினல்,

$$\frac{D}{d} = \sqrt[4]{\frac{2\times 0{\cdot}024\times 311{\cdot}3}{0{\cdot}3}} = 2{\cdot}65$$

$$\therefore \quad d = \frac{0{\cdot}5}{2{\cdot}65} = 0{\cdot}113 \text{ மீ}$$

$$= 113 \text{ மிமீ.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 9·21 (SI). கிடைக்கும் தலைப்பு 150 மீ; குழாய் நீளம் 500 மீ ; $f=0{\cdot}025$. 90 சதவீத திறத்தில் செயற்படும் 1000 கிவா திறனுள்ள டர்பைனுக்கு நீரைக் கொண்டுவர சிறும விட்டமென்ன ?

$$\left.\begin{array}{c}\text{குழாயின் விட்டம் சிறுமமாக இருக்க}\\ \text{கடத்தல் இழப்பானது}\end{array}\right\} = \frac{H}{3} = \frac{150}{3} = 50 \text{ மீ}$$

$$\text{எனவே, டர்பைனுக்குக் கிடைக்கும் தலைப்பு} = 150 - 50 = 100 \text{ மீ}$$

$$\text{ஆகையால் } Q = \frac{P}{wH\eta} = \frac{1000}{9{\cdot}81\times 100\times 0{\cdot}9}$$

$$= 1{\cdot}3 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$h_f = \frac{flV^2}{2gD} = \frac{16flQ^2}{2g\pi^2 D^5}$$

$$\therefore \quad D^5 = \frac{16flQ^2}{2g\pi^2 f}$$

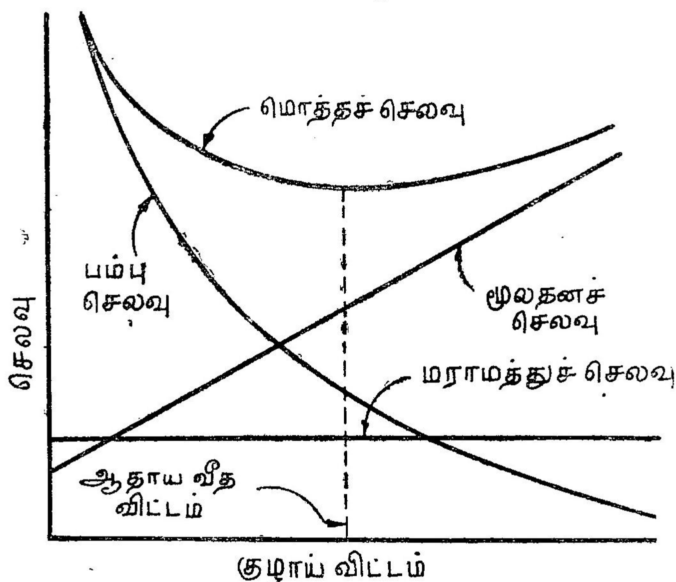
$$= \frac{16\times 0{\cdot}025\times 500\times 1{\cdot}13^2}{2\times 9{\cdot}81\times \pi^2\times 50} = 0{\cdot}024$$

$$\therefore D = 0{\cdot}489 \text{ மீ}$$

எனவே, 500 மிமீ குழாயைப் பயன்படுத்தவும்.

9·32. விகித ஆதாயமுள்ள விட்டம் (Economic Pipe Diameter)

ஒரு இடத்திலிருந்து அதிக அழுத்தமுள்ள திரவத்தை மற்றொரு இடத்திற்குக் கடத்த வேண்டுவதற்கான மூலச் செலவில் (capital expense) பம்பின் விலை, குழாயின் விலை, கட்டுமான விலை முதலியவை அடங்கும். தொடர்ந்து ஏற்படும் செலவானது, பம்பை ஓட்டுவதற்கான மின்சாரக் கட்டணம், மூலதனத்திற்கான வட்டி, மராமத்துச் செலவு, மதிப்பில் ஏற்படும் குறைபாடு (depreciation) முதலியவைகளால் ஏற்படுவதாகும். இவை எல்லாம் படம் 9·24-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.



படம் 9·24. விகித ஆதாயக் குழாய் விட்டம்

குழாயின் விட்டம் அதிகரிக்க மூலதனச் செலவு அதிகரிக்கிறது. கட்டுமானச் செலவும் அது போல் அதிகரிக்கிறது. பிற தொடர்ந்து ஏற்படும் செலவுகள் (recurring expenses) சிறிது அதிகரிக்கலாம். இப்படிப்பட்ட வரைபடத்தின் உதவியால் ஒரு திட்டத்திற்கான விகித ஆதாயமுள்ள விட்டத்தை அடைய முடியும்.

9·33. குழாயில் பாயுவீதத்தை அளத்தல்

குழாயில் பாயுவீதத்தை அளப்பதற்கான சில முறைகள் இந்தப் பகுதியில் விளக்கப்பட்டுள்ளன. பிராண்டல்-பிட்டாட் குழாயை குழாயின் குறுக்கே அனுப்பி, அதன் உதவியால் குழாயில் ஏற்படும் திசைவேகப் பகிர்வை அறிந்து, அந்தத் திசைவேகப்

பகிர்வையும், குழாயின் பரப்பையும் தொகுத்தால் குழாயில் பாயு வீதத்தை அறியலாம். இந்த முறை மிகத் துல்லிதமானாலும் அதிகமாகக் காட்சிபதிவுகளை (readings) எடுக்க வேண்டியதிருப்ப தால் காலதாமதம் ஆகிறது. இந்த முறையில் கையாளப்படும் கருவிக்கு பிட்டாட் மானி (Pitot meter) எனப் பெயர். பெரிய விட்டமுள்ள குழாய்களில் பிட்டாட் மானிகளைப் பயன்படுத்து வதற்குப் பதில் சிறிய திசை வேகமானிகளை(midget current meter) பயன்படுத்தலாம். சிறிய விட்டமுள்ள குழாய்களில் எந்திர அமைப்புடைய நீர்மானிகளை (water meters) பயன்படுத்தலாம். இந்த வகை நீர்மானி அதன் வழி பாயும் மொத்த நீரின் பரும ளவைப் பதிவு செய்யும்; பாயுவீதத்தைக் காட்டாது. இன்னும் பலவித அமைப்புகளையுடைய இறுக்க மானிகள் (constriction meters), வளைவு மானிகள் (bend meters), சுழல்மானிகள் (rota-meter) போன்றவைகளையும் இடத்திற்கேற்ப பயன்படுத்தலாம். இவைகள் பற்றி இப்போது விரிவாகப் படிப்போம்.

9·34. எந்திர அமைப்புள்ள மானிகள் (Mechanical Meters)

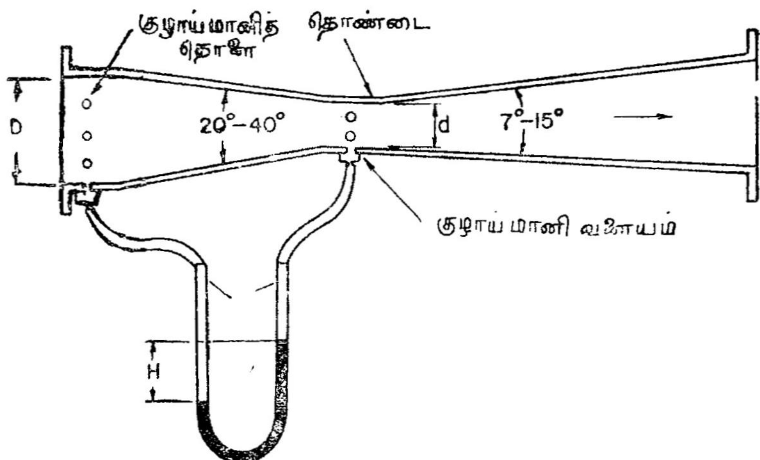
எந்திர அமைப்புள்ள மானிகளை உயத்துணர் மானிகள் (inferential meters), இடம்பெயர் மானிகள் (positive displacement meters) என இரு வகையாகப் பிரிக்கலாம். முன்னையதில் தள்ளு சுழலி (propeller) போன்ற கருவியானது குழாயில் பொறுத்தப் பட்டிருக்கிறது. நீரின் திசைவேகத்திற்கேற்ப இது சுழல்கிறது. இதன் சுழற்சி பல்லிணை (gear) அமைப்புகள் மூலம் அல்லது மின்சார முறை மூலமாகப் பாயுவீதமாக ஒரு தகட்டில் காட்டப் படுகிறது.

இடம்பெயர் மானிகளில் உருளை-உந்துதண்டு (cylinder-piston) போன்ற அமைப்பு உள்ளது. இந்த உருளையில் முதலில் திரவம் நிரம்புகிறது. பின்னர் உந்து தண்டால் அது காலி செய்யப் படுகிறது. இவ்வாறு திரவத்தை உந்து தண்டு காலி செய்வதால் முன்னும் பின்னும் இடம் பெயருகிறது. இந்த இடப்பெயர்வு கொள்ளளவாக மாற்றப்படுகிறது. இந்த வகை மானி நல்ல நிலையிலிருந்தால் இதன் துல்லிதம் 1%-க்குள் இருக்கும். இதை அடிக்கடி அளவு திருத்தம் (calibration) செய்ய வேண்டியது அவசியம். உருளை-உந்து தண்டு அமைப்பிற்குப் பதில் சுழலும் கோப்பைகள் அல்லது தகடுகள் உள்ள அமைப்பும் வாயுக்கள், எண்ணெகள் இவற்றை அளக்கப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இந்த வகை மானி அதனைக் கடந்து செல்லும் வாயு அல்லது திரவம் இவற் றின் மொத்த பருமனளவைக் காண்பிக்கும்; பாயுவீதத்தைக் காட்டாது.

9·35. இறுக்க மானிகள்

குழாய்களில் பாயுவீதத்தை அளக்க இறுக்க மானிகளில் பல வகைகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. அவற்றுள் முக்கியமானவை வெஞ்சுரிமானி (Venturimeter), துளைமானி (orifice meter), முனைமானி (nozzle meter) ஆகியவைகளாகும். இறுக்கத்தால் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடு பாயுவீதமாக மாற்றப்படுகிறது. இந்த மானிகளின் உதவியால் எவ்வாறு பாயுவீதத்தைக் கணிப்பது எனப் பார்ப்போம்.

வெஞ்சுரிமானி : இதன் அமைப்பு படம் 9·25-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. இது குவியும் அமைப்புள்ள பாகத்தையும், தொண்டை (throat) என்று அழைக்கப்படும் ஒரு நேரான பகுதியையும், பின்னர் படிப்படியாக விரியும் அமைப்பையும் ஒரே அச்சில் உடையது. குவியும் பகுதியில் பாய்மம் முடுக்கப்படுவதால் குவியும் கோணம் 30° முதல் 40° வரை இருக்கலாம். விரியும்



படம் 9·25. வெஞ்சுரிமானி

பகுதியில் பிரிதலைத் தவிர்க்க விரியும் கோணம் 8° அதிகமாக இருக்கக் கூடாது. நுழைவாய் 1-லும், தொண்டை 2-லும் குழாய் மானி வளையங்கள் (piezometric rings) அமைக்கப்பட்டு அந்த இடங்களிலுள்ள சராசரி அழுத்தம் அடையப்படுகிறது. இவ்வழுத் தங்கள் குழாய்மானித் துளைகள் (piezometric openings) வழியாக U-குழாய் அழுத்தமானியின் இருபுயங்களிலும் திடமான ரப்பர் குழாய்களால் இணைக்கப்படுகின்றன. இந்த U-குழாய் அழுத்த மானி வெஞ்சுரிமானியின் நுழைவாய், தொண்டை என்ற இரண்டு பகுதிகளில் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாட்டை அளக்கிறது. வெஞ்

சுரிமானியை குழாய் அமைப்பில் எவ்வாறு எங்கு பொறுத்த வேண்டுமென்பதைப் பற்றி வெஞ்சுரிமானி தயாரிப்பாளர்கள் நிர்ணயிக்கிறார்கள்.

தொடர், பெர்னூலிச் சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்தி வெஞ்சுரி மானியின் வழி பாயும் பாய்மத்தின் வீதத்தைக் கணக்கிடலாம். 1, 2 என்ற வெட்டுமுகங்களில் பரப்பு முறையே a_1, a_2-ஆக இருக்கட்டும். தொடர்ச் சமன்பாட்டின்படி,

$$a_1 V_1 = a_2 V_2$$

ஆற்றல் சமன்பாட்டின்படி,

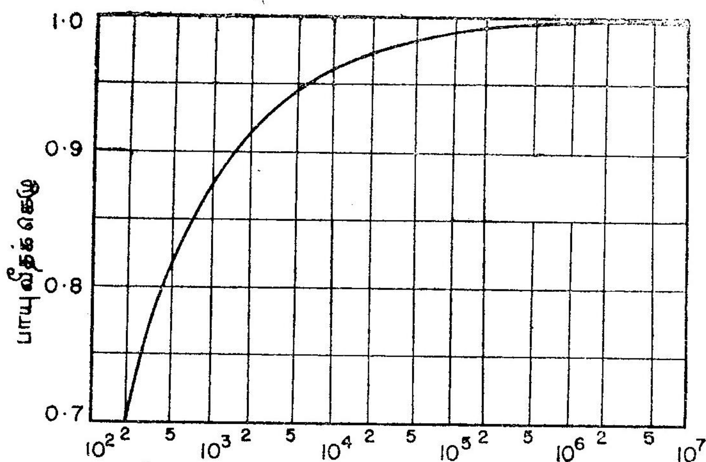
$$\frac{p_1}{w} + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{w} + \frac{a_2 V_2^2}{2g} + Z_2 + h_2$$

இதிலிருந்து

$$V_2 = \sqrt{2g} \left[\frac{(Z_1 - Z_2) - h_2 + \left(\frac{p_1 - p_2}{w}\right)}{a_2 - a_1\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

வெஞ்சுரிமானியில் அச்சு கிடையாக இருக்குமானால் $Z_1 = Z_2$ ஆகும். திசைவேகப் பகிர்வு சீராக இருக்குமென எடுத்துக்கொண்டால் $a_1 = a_2 = 1$. ஆற்றலிழப்பான h_2-ஐப் புறக்கணித்து விட்டால்,

$$Q = a_2 V_2 = \frac{C_d a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \sqrt{\frac{2\Delta p}{w}}$$



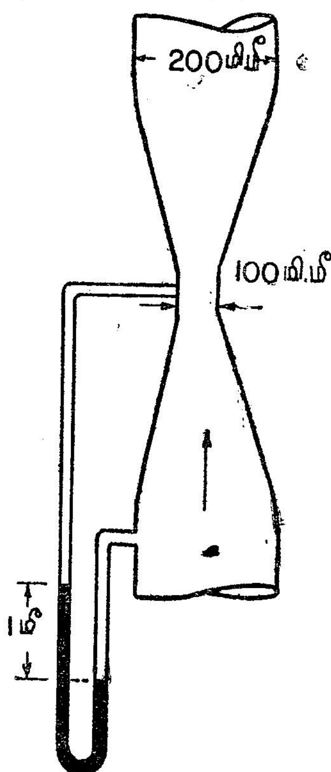
படம் 9·26. வெஞ்சுரிமானியில் R-க்கும் $\frac{d}{D}$-க்குமுள்ள தொடர்பு

Δp என்ற அழுத்த வேறுபாட்டை வெஞ்சுரிமானி வழி பாய்மத் தலைப்பால் எழுதினால், அதாவது $\frac{\Delta p}{w} = H$ ஆனால்,

$$Q = \frac{C_d a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \sqrt{2gH} \qquad (9{\cdot}46)$$

இந்த அழுத்த வேறுபாடு U-குழாய் அழுத்தமானியால் அளக்கப் பட்டால் H-ன் மதிப்பு வெஞ்சுரிமானியில் இட அமைப்பால் மாறாது.

வெஞ்சுரிமானியின் கெழுவான C_d யானது $\frac{d}{D}$, R என்பவற்றை சார்ந்தது. இது படம் 9·26-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. வெஞ்சுரிமானியின் அமைப்பு, குழாயில் பொறுத்தும் முறை, அவைகளை உபயோகிக்கும் விதம், அளவு திருத்தம் செய்யும் வழிகள் முதலியவை பற்றி இந்தியத் தர நிர்ணயக் கழக (Indian Standards Institution) வெளியீடான IS 4477 (பாகம் 1)—1967 தெளிவாக விளக்குகிறது.



மாதிரிக் கணக்கு 9·22. படத்திலுள்ள 200 மிமீ × 100 மிமீ வெஞ்சுரிமானி ஒரு U-குழாய் அழுத்தமானியில் 1 மீ காட்டுகிறது. மானி திரவத்தின் ஒப்பு அடர்த்தி 1·25. வெஞ்சுரிமானி வழியாக மேல் நோக்கி நீர் பாயும்போது நீரின் பாயுவீதம் என்ன? $C_d = 0{\cdot}98$. $a_1 = a_2 = 1$.

$d_1 = 0{\cdot}2$ மீ $\qquad h = 1$ மீ

$d_2 = 0{\cdot}1$ மீ $\qquad S_1 = 1{\cdot}25$

$C_d = 0{\cdot}98$

$$a_1 = \frac{\pi \times 0{\cdot}2^2}{4} = 0{\cdot}0314 \text{ மீ}^2$$

$$a_2 = \frac{\pi \times 0{\cdot}1^2}{4} = 0{\cdot}00785 \text{ மீ}^2$$

$$H = h\left(\frac{S_1}{S_2} - 1\right) = 1\left(\frac{1{\cdot}25}{1} - 1\right)$$

$$= 0{\cdot}25 \text{ மீ}$$

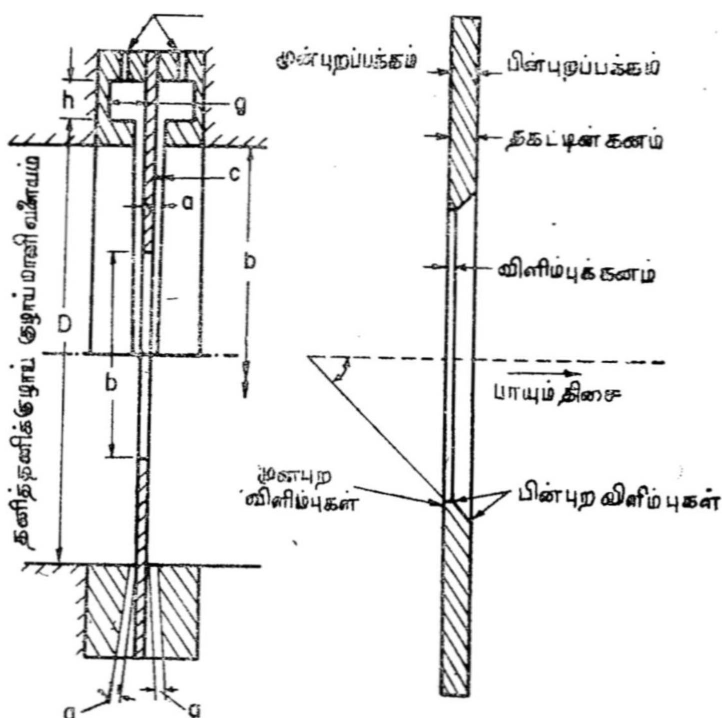
சமன்பாடு 9·46-ஐப் பயன்படுத்தினால்,

$$Q=\frac{0\cdot99\times0\cdot0314\times0\cdot00785}{\sqrt{0\cdot0314^2-0\cdot00785^2}}\sqrt{2\times9\cdot81\times0\cdot25}$$

$$=0\cdot018 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

$$=18 \text{ லி}/\text{வி}.$$

துளைமானி : இது அமைப்பில் எளிது. குழாயின் குறுக்கே நடுவில் துளையுள்ள ஒரு மெல்லிய தகடு வைக்கப்படுகிறது. தகடு கனமானதாக இருந்தால் துளையின் விளிம்பு படம் 9·27-ல்



படம் 9·27. துளைமானி

உள்ளபடி கூர்மையாக அமைக்கப்படவேண்டும். வெஞ்சுரிமானியைப் போன்று இதன் வழி பாயும் பாயுவீதத்தைக் கணக்கிடலாம். தகட்டிற்கு இரு பக்கமும் அழுத்த வேறுபாடு ஏற்படுகிறது. இந்த அழுத்த வேறுபாடு U-குழாய் அழுத்தமானியால் அளக்கப்பட்டு சமன்பாடு 9·46-ஐப் பயன்படுத்தி பாயுவீதம் கணிக்கப்படுகிறது.

படம் 9·27-ல் துளைமானிக் கெழு எவ்வாறு R, $\frac{d}{D}$-ஐச் சார்ந்தது என்பது காட்டப்பட்டுள்ளது.

மாதிரிக் கணக்கு 9·23. 300 மிமீ விட்டக் குழாயில் 200 மிமீ விட்டமுள்ள துளைமானி பொறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. அதன்வழி 0·85 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள எண்ணெய் 8000 லி/நிமிடம் வீதத்தில் பாயும்போது அந்தத் துளைமானியில் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடு என்ன ?

$d_1 = 0·3$ மீ $\qquad \nu = 10^{-5}$ மீ^{2}/வி

$d_2 = 0·2$ மீ $\qquad h = ?$

$Q = 8000$ லி/நிமிடம்

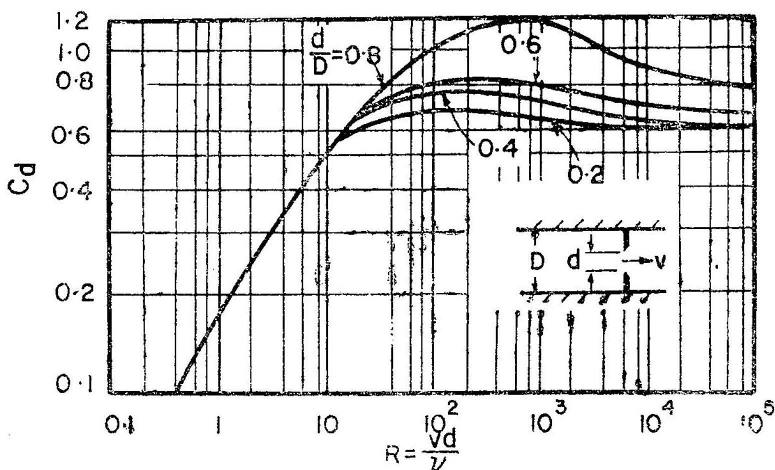
$S = 0·85$

$$a_1 = \frac{\pi \times 0·3^2}{4} = 0·0705 \text{ மீ}^2$$

$$a_2 = \frac{\pi \times 0·2^2}{4} = 0·0314 \text{ மீ}^2$$

$$V_2 = \frac{8}{0·0314 \times 60} = 4·25 \text{ மீ/வி}$$

$$\therefore \quad \mathbf{R} = \frac{V_2 d_2}{\nu} = \frac{4·25 \times 0·2}{10^{-5}} = 8·5 \times 10^5$$



படம் 9·28. துளைமானியில் R-க்கும் $\frac{d}{D}$-க்குமுள்ள தொடர்பு

படம் 9·28-லிருந்து $\frac{d_2}{d_1}=0·67$, $R=8·5\times10^5$-ஆக இருக்கும்போது $C_d=0·71$ எனத் தெரிகிறது. ஆகவே, சமன்பாடு 9·46-ஐப் பயன் படுத்தினல்,

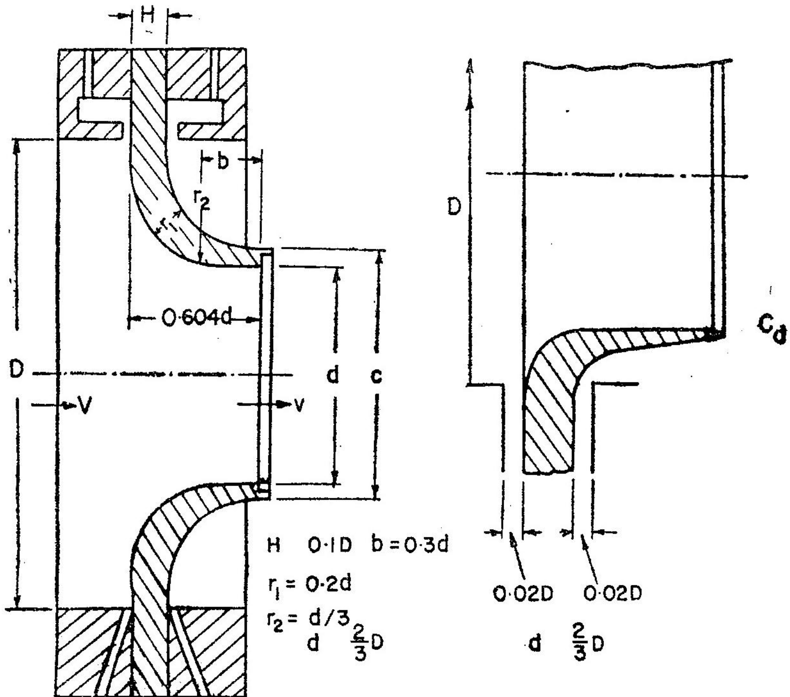
$$\frac{8}{60}=\frac{0·71\times0·0705\times0·0314}{\sqrt{0·0705^2-0·0314^2}}\sqrt{2\times9·81\times h}$$

$h=1·47$ மீ எண்ணெய் உயரம்

$\therefore$ அழுத்த வேறுபாடு $\Delta p=1·47\times850$

$=1250$ கிகிள/மீ^{2}.

முனைமானி : துளைமானியின் அபிவிருத்தியே முனைமானி யாகும். முனைமானியின் கெழுவானது கிட்டத்தட்ட ஒன்ருக

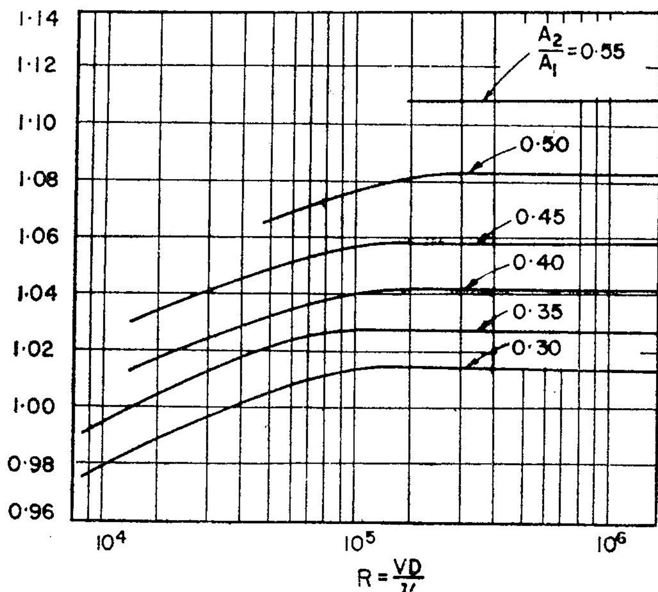


(1)

படம் 9·29. முனைமானி

இருக்கும். இதன் அமைப்பு படம் 9·29-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. சமன்பாடு 9·46-ஐ இந்த மானிக்குப் பயன்படுத்தலாம்.

பலவகை குறுக்கமானிகளுள் வெஞ்சுரிமானி மிகச் சிறந்தது. இதில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு மிகக் குறைவு; மேலும் அளவைகள் நிலையாக இருக்கும்; மானிக் கெழுவும் அதிகமாக



(2)

படம் 9·29. முனைமானி

இருக்கும். ஆனால் இதன் விலை அதிகம். ஆதலால் எங்கு அவ்வளவு துல்லிதம் அவசியமல்லவோ அங்கு முனைமானி அல்லது துளைமானி பயன்படுத்தப்படுகிறது. முனைமானியைவிட துளைமானியில் ஆற்றலிழப்பு அதிகம்.

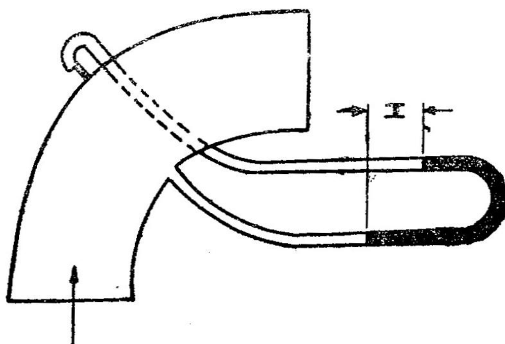
9·36. வளைவு மானிகள்

ஒரு குழாய் அமைப்பிலுள்ள வளைவை மானியாகப் பயன்படுத்தலாம். வளைவின் வழியாகப் பாய்மம் பாயும்போது அதன் ஆரத்திசையில் இரு புறங்களிலும் அழுத்த வேறுபாடு ஏற்படுகிறது. வளைவின் வெளியில் அழுத்தம் அதிகமாக இருக்கும். இந்த அழுத்த வேறுபாட்டை நாம் பாயுவீதமாகக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டின் மூலம் மாற்றலாம்.

$$Q = C_d \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2g \frac{p_o - p_i}{w}} \qquad (9·47)$$

வளைவுமானியின் அமைப்பு படம் 9·30-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

இந்தச் சமன்பாட்டிலுள்ள C_d என்ற பாயுவீதக் கெழு $\frac{R}{d}$, பரப்பு சொரசொரப்பு, ரெயினல்ஸ் எண், வளைவுகோணம் முதலியவற்றை சார்ந்தது. ஒவ்வொரு வளைவையும் அளவு திருத்தம்

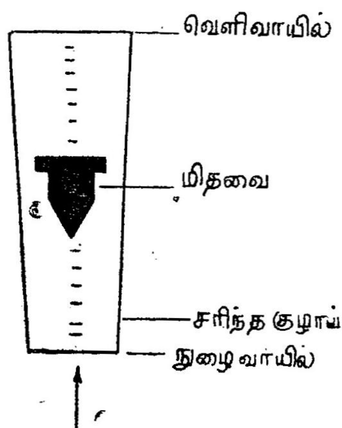


படம் 9·30. வளைவு மானி

செய்ய வேண்டியது அவசியம். பொதுவாக C_d-யின் மதிப்பு 0·55-லிருந்து 1·2 வரை வேறுபடும். 'இந்த மானியின் செலவு குறைவு. அதிகப்படியாக ஆற்றலிழப்பு ஏற்படாது. ஆனால் இந்த மானியை அவ்வப்போது அளவு திருத்தம் செய்து கொள்ள வேண்டும்.

9·37. சுழல் மானிகள்

இந்த வகைமானியை செங்குத்தான குழாய்களில் மட்டும் அமைக்க முடியும். இந்தமானியில் ஏற்படும் பரப்பு வேறுபட்டால் அதிலுள்ள மிதவை(float)யின் இடம் மாறுகிறது. இந்த இட மாறுபாடு பாயுவீதமாக அளவு திருத்தம் செய்யப்படுகிறது. இதன் அமைப்பு படம் 9·31-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த மானியிலுள்ள மிதவை வெளித் தெரிவதற்கு வசதியாக, இந்த மானி கண்ணாடி அல்லது பிளாஸ்டிக்கால் செய்யப்பட்டிருக்கும். மிதவையின் ஒப்பு அடர்த்தி திரவத்தின் ஒப்பு அடர்த்தியை விடச் சிறிது அதிகமாக இருக்க வேண்டும். இந்த மிதவையில்



படம் 9·31. சுழல் மானி

திரவம் பாயும்போது ஏற்படும் உராய்வைக் குறைக்க அதிலுள்ள வளைந்த பள்ளங்களின் உதவியால் மெதுவாக சுற்றப்படுகிறது. இவ்வகை மானிகள் இரசாயனத் தொழிற்சாலைகளில் பெரும் பாலும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

பயிற்சிக் கணக்குகள்

9·1. குழாய் ஓட்டத்தில் சொரசொரப்பிற்கும் உராய்வுக் கெழுவிற்குமுள்ள தொடர்பை விளக்குக.

9·2. நீரானது பம்பினால் 20 மீ உயரத்திற்கு 10 லிட்டர்/வி வீதத்தில் 150 மிமீ குழாய் மூலம் ஏற்றப்படுகிறது. குழாயின் மொத்த நீளம் 340 மீ. பம்பு செட்டின் திறம் 70%. மோட்டாரின் திறன் என்ன? $f = 0{\cdot}0025$.

9·3. 0·2 மிமீ சொரசொரப்புள்ள 100 மிமீ குழாய் வழியாக 5 லி/வி வீதத்தில் 20°C வெப்பநிலையில் மண்ணெண்ணெயை 1000 மீ நீளக் குழாயில் கடத்தத் தேவையான திறன் என்ன?

9·4. A, B என்ற புள்ளிகள் 150 மிமீ விட்டமுள்ள எஃகுக் குழாயில் 1000 மீ தூரத்திலுள்ளன. அவற்றின் அழுத்தங்கள் முறையே 8 கிகி/செமீ², 3·5 கிகி/செமீ² ஆகும். A, B-யைவிட 10·5 மீ உயரத்திலிருக்கிறது. அதன் வழி 0·925 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள கச்சா எண்ணெய் 20°C வெப்பநிலையில் என்ன வீதத்தில் பாயும்?

9·5. துத்தநாகத் தகடால் செய்யப்பட்ட 2 மீ × 3 மீ நீண்ட சதுரப் பாய்மக் கடத்தியின் நீளம் 200 மீ. அதன் வழி பாயும் காற்றின் (30°C) திசைவேகம் 3·5 மீ/வி. கடத்தியின் ஆரம்பத்தில் அழுத்தம் 1·5 கிகி/செமீ². கடத்தி கிடையாக இருக்குமானால் 150 மீ தூரத்தில் அழுத்தம் என்ன?

9·6. 2 மீ விட்டமுள்ள காற்று கடத்தியின் மத்தியிலும், கால்பங்கு தூரத்திலும் திசைவேகங்கள் முறையே 6 மீ/வி, 5 மீ/வி ஆகும். பாயுவீதம் என்ன?

9·7. படல உட்படலம் என்றால் என்ன? 20°C வெப்பநிலையில் 60 லிட்டர்/வி வீதத்தில் நீரைக் கடத்தும் 300 மிமீ விட்டக் குழாயில் படல உட்படலக் கனம் என்ன? படல உட்படலத்தின் விளிம்பில் திசைவேகம் என்ன?

9·8. 200 மிமீ விட்டமுள்ள தண்ணீர் குழாயில் திசைவேகம் சுவரிலிருந்து 20 மிமீ தூரத்தில் 10 மிமீ தூரத்தைவிட அதிகமாக இருக்குமானால் சொரசொரப்பு முனைகளின் உயரம் என்ன ?

9·9. ஒரு கான்கிரீட் குழாய் 1000 மீ தூரத்தில் 5 மீ உயர அழுத்த வேறுபாட்டில் 6 மீ^{3}/வி நீரைக் கடத்துகிறது. அந்தக் குழாயின் சொரசொரப்பு என்ன ?

9·10 150 மிமீ விட்டமுள்ள குழாய் 0·005 ஸ்டோக்ஸ் இயக்கப் பாகுநிலையுள்ள பெட்ரோலை ($S=0{\cdot}716$) 100 லி/வி வீதத்தில் கடத்தினால் மிகக் குறைந்த ஆற்றலிழப்பிற்கு அதன் பரப்பிலுள்ள சொரசொரப்பு உயரம் எவ்வளவு அதிகமாக இருக்கும் ?

9·11. 300 மிமீ, 200 மிமீ விட்டமுள்ள குழாய்களிலுள்ள சொரசொரப்பு உயரம் 0·2 மிமீ. இவற்றின் வழி பாயும் நீரின் வீதம் ஒரே அளவினதென்றால் நீரைக் கடத்தத் தேவையான திறன்கள் என்ன ?

9·12. 200 மிமீ விட்டமுள்ள குழாயினுள் 0·5 மிமீ அளவுள்ள மணற்பொடிகள் சீராகத் தூவப்பட்டுள்ளன. 20°C வெப்பநிலையுள்ள நீர் (அ) எந்தப் பாயுவீதத்திற்கு படல உட்படலத்தில் உலைவை உண்டாக்கும் ? (ஆ) குழாயின் சுவரில் ஏற்படும் உலைவு எப்போது குழாய் முழுவதும் பரவும் ?

9·13. 0·015 மீ^{3}/வி பாயுவீதத்தில் 20°C வெப்பநிலையில் 100 மீ நீளத்திற்கு 1 மீ ஆற்றலிழப்பில் எந்தக் குறைந்த அளவு விட்டமுள்ள குழாய் நீரைக் கடத்தும் ?

9·14. 10 வருடங்களுக்கு பிறகு 0·6 மீ விட்டமுள்ள வார்ப் பிரும்புக் குழாயில் அதே அளவு நீரைக் கடத்த 20% அதிகமான திறன் தேவைப்படுகிறது. சொரசொரப்பில் ஏற்பட்டுள்ள அதிகரிப்பின் சதவீதம் என்ன ?

9·15. 0·2 ஸ்டோக்ஸ் இயக்கப் பாகுநிலையுள்ள எண்ணெயை 2 மீ/வி திசைவேகத்தில், 100 மீ நீளத்திற்கு 0·3 மீ ஆற்றலிழப்பு உயரத்தில் கடத்தத் தேவையான சிறும விட்டக் குழாய் என்ன ?

9·16. ஒரு தொட்டியிலுள்ள நீரின் மட்டம் அதே இணைக்கப் பட்டுள்ள 100 மிமீ குழாய்க்கு 5 மீ உயரத்திலிருக்கிறது.

அந்தக் குழாய் 10 மீ நீளத்திற்குக் கிடையாக இருக்கிறது. பின்னர் திடீரென்று 50 மிமீ விட்டத்திற்குச் சுருங்குகிறது. 5 மீ தூரத்திற்கு 50 மிமீ விட்டக் குழாயாக இருந்து, படிப் படியாக 150 மிமீ விட்டத்திற்கு விரிகிறது. அதிலிருந்து 2 மீ தூரங்கழித்து 45° சாய்வில் 2 மீ தூரம் கீழிறங்கு கிறது. இந்தக் குழாயில் குழாய்மானி உயரத்தையும், மொத்த ஆற்றல் கோட்டையும் வரைக. பாயுவீதம் என்ன?

9·17. 0·6 மீ விட்டமுள்ள குழாயில் பாயுவீதம் 4 $மீ^3$/வி. குழா யில் 40 மீ உயரமுள்ள ஒரு இடத்தில் மானி அழுத்தம் 1·75 கிகி/$செமீ^2$. அதே குழாயில் 1500 மீ கழித்து, 30 மீ உயரத்தில் தனி அழுத்தம் 3·15 கிகி/செமீ. உராய்வுக் கெழு என்ன?

9·18. 2 மீ விட்டமுள்ள ஒரு காற்று குழாய் திடீரென 1 மீ விட்டமுள்ளதாகிறது. 10 $மீ^3$/வி பாயுவீதத்தில் காற்று கடத்தப்படும்போது 2 மீ விட்ட முகவெட்டில் அழுத்தம் 50 மிமீ நீர் உயரமாகும். திடீர் குறுக்கத்தால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பையும் எடுத்துக் கொண்டு, 1 மீ வெட்டு முகத்தில் அழுத்தத்தைக் காண்.

9·19. 7 மீ நீளம், 3·5 மீ அகலம், 1·5 மீ ஆழமுள்ள ஓர் தொட்டி யின் நீரானது அதன் அடியில் இணைக்கப்பட்டுள்ள 5 மீ நீளம், 150 மிமீ விட்டமுள்ள செங்குத்துக் குழாய் மூலம் வெளிப்படுத்தப்படுகிறது. வெளிக் குழாயின் இறுதிப் பாகம் பாதாளத் தொட்டியில் 2 மீ ஆழத்திற்கு நீரினுள் மூழ்கி இருக்குமானல் அந்தக் குழாய் வழியாக முதல் 2 நிமிடங்களில் எவ்வளவு நீர் வெளியேறும்? தொட்டி யின் முழுவதும் ஆரம்பத்தில் நீர் இருந்தது. $f=0{\cdot}02$.

9·20. 930 $மீ^2$ பரப்புள்ள நீர்த்தேக்கத்தில் 15 மீ ஆழத்திற்கு நீர் இருக்கிறது. 150 மிமீ விட்டம் 500 மீ நீளமுள்ள ஓர் கிடைக்குழாய் அந்த நீர்த்தேக்கத்தின் அடியி லிருந்து வெளிவருகிறது. இக்குழாயின் வழியாக நீரை வெளியேற்றி நீர்த்தேக்கத்தில் ஆழத்தை 15 மீ-லிருந்து 12 மீ-க்குக் குறைக்க தேவையான நேரம் என்ன? குழாய் வெளிவாய் நிரம்பி நீர் வெளியில் வடிகிறது. $f=0{\cdot}015$.

9·21. 100 மிமீ விட்டமுள்ள குழாய் 200 மிமீ விட்டத்திற்குத் திடீரென விரிகிறது. இந்தக் குழாய் வழியாக 30 லி/வி வீதத்தில் நீர் பாயுமானால் அதனால் ஏற்படும் ஆற்ற விழப்பு என்ன? நீரானது எதிர் திசையில் சென்றால் அப்போது ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பை முன்னைய ஆற்ற விழப்போடு ஒப்பிடுக.

9·22. 15 மீ நீளம் 100 மிமீ விட்டமுள்ள வடிகுழாய் வழியாக நீர் கடத்தப்படுகிறது. வடிகுழாயின் அடிப்பாகம் நீர்மட்டத்திலிருந்து 3 மீ கீழே இருக்குமானால் குழாயில் பாயுவீதம் என்ன? வடிகுழாயின் உச்சபாகம் நீர் மட்டத்திலிருந்து 2 மீ உயரத்திலிருந்தால் அந்த இடத்திலேற்படும் அழுத்தம் என்ன?

9·23. 30 மீ உயர வேறுபாடுள்ள இரண்டு நீர்த்தேக்கங்களை 2000 மீ நீளம் 200 மிமீ விட்டமுள்ள குழாய் இணைக்கிறது. உயரத்திலுள்ள நீர்த்தேக்கத்தின் நீர் மட்டத்திற்கு மேல் 7·6 மீ உயரத்தில் வடிகுழாயின் உச்சி இருக்கிறது. அந்த உச்சியில் அழுத்தம் — 8 மீ நீர் உயரத்திற்குக் குறையக் கூடாது என்றால், உச்சைக் கடந்து குழாயின் உயரம் எவ்வளவு தாழ்வாக இருக்க வேண்டும்? உச்சிக்கும், உயரத்திலுள்ள நீர்த்தேக்கத்திற்கும் இடையேயுள்ள குழாயின் நீளம் 300 மீ. $f=0{\cdot}02$ வடிகுழாய் பாயும் நீரின் வீதம் என்ன?

9·24. 100 மிமீ விட்டமுள்ள வடிகுழாய் ஒரு நீர்த்தேக்கத்தி லிருந்து மற்றொரு நீர்த்தேக்கத்திற்கு நீரைக் கடத்தப் பயன்படுகிறது. வடிகுழாயின் உயரும் புயம் (rising limb) 34 மீ நீளம், வடியும் புயம் 345 மீ நீளமாகும். மேல் நீர்த்தேக்க மட்டத்திலிருந்து வடி குழாயின் உச்சி 2·4 மீ உயரத்திலிருக்கிறது. நீர்மட்ட வேறுபாடு 15·9 மீ. நீரின் பாயுவீதத்தையும், வடிகுழாயின் உச்சியில் அழுத்தத்தையும் கணக்கிடு.

9·25. 2 மீ விட்டமுள்ள எஃகுக் குழாய் நீரை 3 கிமீ தூரத்தி லுள்ள நீர்த்தேக்கத்திலிருந்து நீர் மின்சார நிலையத் திற்குக் கடத்துகிறது. நிலையத்தின் அருகிலுள்ள எழுச்சித் தொட்டியில் (surge tank) நீர்மட்டம் தேக்கத்திலுள்ள நீர் மட்டத்தைவிட 7 மீ தாழ்வாக இருக்குமானால் நீரின் பாயுவீதம் என்ன? $f=0{\cdot}020$.

9·26. தொடர்வாக உள்ள இரண்டு குழாய்களால் இரண்டு நீர்த்தேக்கங்களும் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. குழாய்களின் விபரங்கள் 1000 மீ நீளம்; 0·5 மீ விட்டம்; $f=0{\cdot}02$. 1000 மீ நீளம்; 0·25 மீ விட்டம்; $f=0{\cdot}025$. 0·5 மீ விட்டக் குழாயில் நீரின் திசைவேகம் 1·5 மீ/வி என்றால் இரண்டு நீர்த்தேக்கங்களுக்கிடையே நீர்மட்ட வேறுபாடு என்ன?

9·27. 0·4 மீ, 0·3 மீ விட்டங்கள் உள்ள இரண்டு இணைகுழாய்களால் 2 கிமீ தூரத்திலுள்ள நீர்த்தேக்கங்கள் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. இரண்டிலும் மொத்தப் பாயுவீதம் 1 மீ^{3}/வி என்றால் ஒவ்வொரு குழாயிலுமுள்ள திசைவேகம் என்ன? f இரண்டு குழாய்களுக்கும் சமம் எனக் கொள்க.

9·28. 1·5 மீ விட்டமுள்ள குழாய் 5 மீ^{3}/வி பாயுவீதத்தில் நீரைக் (20°C) கடத்துகிறது. 500 மீ நீளத்தில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பு என்ன? $k=0{\cdot}5$ மிமீ. k-யின் மதிப்பு குழாயை வழவழப்பானது என பாகுபடுத்துமளவிற்குச் சிறியதாக இருக்குமானால் ஆற்றலிழப்பில் ஏற்படும் மிச்சம் என்ன?

9·29. 15 மீ தூரத்திலுள்ள இரண்டு நீர்த்தொட்டிகள் 73 மிமீ விட்டக் குழாயால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. தொட்டிகளிலுள்ள நீர்மட்ட வேறுபாடு 3 மீ. இந்த 15 மீ குழாயை மட்டும் 150 மிமீ குழாயாக மாற்றினால் பாயுவீதத்தில் என்ன வேறுபாடு ஏற்படும்? நுழை, வெளிவாய்களின் விட்டங்கள் 75 மிமீ ஆகவே இருக்கின்றன. $f=0{\cdot}02$. மொத்த, குழாய்மானி அழுத்தக் கோடுகளை வரைக.

9·30. கீழே உள்ள தொடர் குழாய்களை ஒரே குழாயால் மாற்ற தேவையான விட்டம் என்ன? பாயுவீதத்தில் மாற்றம் இல்லை.

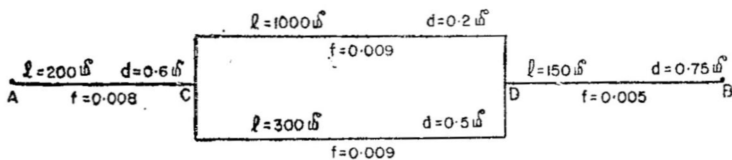
(1) 1000 மீ, 300 மிமீ குழாய்
(2) 500 மீ, 200 மிமீ குழாய்
(3) 300 மீ, 100 மிமீ குழாய்.

f-ன் மதிப்பு எல்லாக் குழாய்களும் ஒரே அளவினது எனக் கொள்க.

9·31. A என்ற 120 மீ மட்டத்திலுள்ள நீர்த்தேக்கத்திலிருந்து 1 மீ விட்டக் குழாய் புறப்பட்டு 300 மீ தூரம் B என்ற

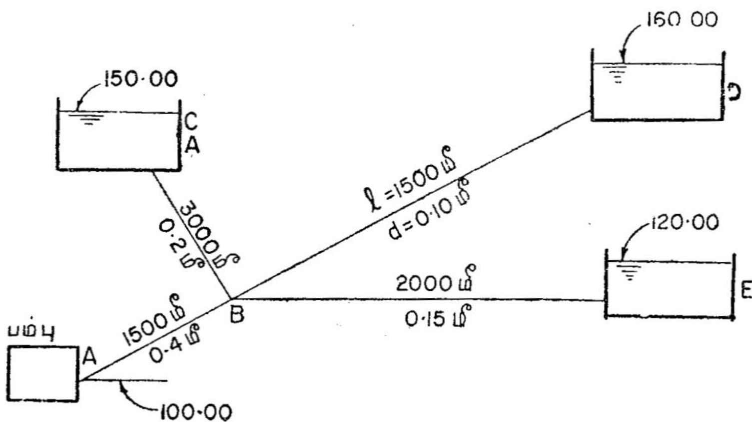
சந்திப்பிற்குச் சென்று, அங்கிருந்து மூன்ருகப் பிரிகிறது. 0·2 மீ, 0·4 மீ, 0·6 மீ விட்டக் குழாய்கள் முறையே 300 மீ, 400 மீ, 600 மீ தூரங்கள் சென்று C, D, E என்ற இடங்களில் முடிகின்றன. அவற்றின் மட்டங்கள் முறையே 40 மீ, 35 மீ, 30 மீ ஆகும். C, D, E என்ற இடங்களில் பாயுவீதம் என்ன ?

9·32. படத்திலுள்ளபடி குழாய் அமைப்பில் A, B என்ற புள்ளிகளிடையே யுள்ள மட்ட வேறுபாடு 100 மீ.



மொத்த பாயுவீதத்தையும், CD என்ற பகுதியில் பாயுவீதத்தையும் காண்.

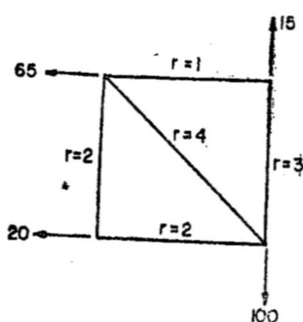
9·33. படத்திலுள்ள A என்ற பம்பு 100 மீ நீர் உயரம் அழுத்

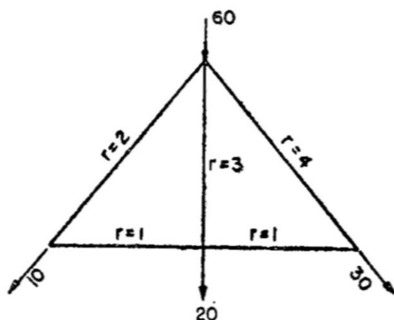


தத்தை உண்டாக்குகிறது. ஒவ்வொரு நீர்த்தேக்கத்தினுள்ளும் பாயுவீதங்களைக் காண்.

9·34. குழாய் வலை அமைப்புகளும், அவற்றில் நுழை, வெளி பாயுவீதங்களும் படங்களில் காட்டப்பட்டுள்ளன.

ஒவ்வொரு குழாயிலும் நீரின் பாயுவீதத்தையும், பாயும்





திசையையும் காண்.

9·35. 3200 மீ நீளம் 3 மீ விட்டமுள்ள கான்கிரீட் நீர்விநியோகக் குழாய் 0·1 மீ/வி வீதத்தில் நீரைக் கடத்திக் கொண்டிருக்கிறது. குழாயின் இறுதியிலுள்ள வால்வை 16 வினாடிகளில் படிப்படியாக அடைத்தால் குழாய் வெடிக்கும் என நிரூபி. வெடிக்கும் அழுத்தம் 25 மீ நீர் உயரம்.

9·36 1 மீ விட்டமுள்ள எஃகுக் குழாயின் சுவர்க் கனம் 10 மிமீ ஆகும். அக்குழாயின் நீளம் 1000 மீ. அதில் நீரானது 25 மீ/வி திசைவேகத்தில் ஓடிக்கொண்டிருக்கும்போது அதன் இறுதியிலுள்ள வால்வு 2 வினாடிகளில் மூடப் படுகிறது. அந்தக் குழாயின் சுவரில் ஏற்படும் தகைவு என்ன?

9·37. விகித ஆதாயமுள்ள குழாய் விட்டம் உராய்வுக் கெழுவிற்கு $\frac{1}{6}$ வர்க்கத்திலிருக்குமென நிரூபி.

9·38. திறனைக் கடத்துவதற்கான குழாயின் சிறும விட்டம், அக்குழாயில் ஏற்படும் உராய்வு இழப்பு, மொத்தத் தலைப்பில் $\frac{1}{3}$ பங்காக இருக்கும்போது ஏற்படும் என நிரூபி.

9·39. 100 கிவா திறனைக் குழாய் மூலம் கடத்த வேண்டியதிருக்கிறது. குழாயின் நுழைவாயில் அழுத்தம் 70 கிகி/செமீ². ஒரு கிலோ மீட்டர் நீளத்தில் அழுத்தக் குறைவு 0·44 கிகி/செமீ²–ஆக இருக்குமானால், 16 கிமீ தூரம் நீரைக் கடத்த விகித ஆதாயமுள்ள விட்டம் என்ன? $f=0{\cdot}02$.

9·40 200 மீ நீளம், 100 மிமீ விட்டக் குழாயின் இறுதியில் உச்சத் திறனுக்கு எந்தக் குறைந்த அளவுள்ள முனை பொறுத்தப்பட வேண்டும். இந்தக் குழாயில் நீரானது 40 மீ அழுத்த உயரத்தில் இருக்குமானால் முனையின் வெளியில் கிடைக்கும் திறன் என்ன?

9·41. ஒரு பிரான்ஸிஸ் டர்பைனுக்கு 1 மீ விட்டம் 300 மீ நீளமுள்ள குழாயால் 1 மீ^{3}/வி பாயுவீதத்தில் நீர் செலுத்தப்படுகிறது. அந்த டர்பைன் (அ) 5 வினடிகள் (ஆ) 50 வினடிகளில் மூடப்பட்டால் அந்தக் குழாயில் ஏற்படும் அழுத்த அதிகரிப்பு என்ன?

9·42. 15 மிமீ விட்டம் 100 மீ நீளமுள்ள குழாயில் 22 லி/வி வீதத்தில் நீர் பாய்ந்து கொண்டிருக்கும் போது இறுதியிலுள்ள வால்வு திடீரென மூடப்படுகிறது. குழாயின் கனம் 6 மிமீ. $E=2{\cdot}1\times10^6$ கிகி/செமீ^{2}. $K=2{\cdot}1\times10^4$ கிகி/செமீ^{2}. குழாயில் ஏற்படும் உச்ச அழுத்தம் என்ன?

9·43. 300 மிமீ குழாயில் ஏற்படும் சீரான பாயுவீதத்தை அளக்க ஒரு வெஞ்சுரிமானி பயன்படுத்தப்படுகிறது. பாயுகுறுக்கக் கெழு 0·5. மானிக்கெழு 0·98. அதன் நுழைவாயிற்கும் தொண்டைக்குமுள்ள அழுத்த வேறுபாடு 3 மீ நீரின் உயரமானல் நீரின் பாயுவீதம் என்ன?

9·44. 250 மிமீ × 150 மிமீ அளவுள்ள வெஞ்சுரிமானி வழியாக 0·89 ஒப்பு அடர்த்தியுள்ள எண்ணெய் பாய்கிறது. பாயுவீதம் 3000 லி/வி. பாதரச எண்ணெய் U–குழாயில் ஏற்படும் உயர வேறுபாடு என்ன?

9·45. 100 மிமீ விட்டக் குழாயில் 0·5 பரப்பு குறுக்கக் கெழு உடைய வெஞ்சுரிமானி அமைக்கப்பட்டுள்ளது. அந்த மானியில் நீர் பாயாதபோது உள்ள அழுத்தம் 3 மீ உயரமாகும். நீர்பாயும்போது தொண்டையில் தனி அழுத்தம் 2 மீ உயரமென்றால் பாயுவீதம் என்ன? $C_d=0{\cdot}97$.

9·46. 150 மிமீ விட்டக் குழாயில் 100 மிமீ விட்டத் துளை மானி உள்ளது. அதன்வழி 30°C வெப்பநிலையில் காற்று பாயும் போது, அந்த மானியில் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடு 150 மிமீ சாராய ($S=0{\cdot}79$) உயர வேறுபாடு என்றால், காற்றின் பாயுவீதமென்ன? அமுக்கத்தின் விளைவுகளைப் புறக்கணிக்க.

10. அமுக்கப் பாய்ம ஓட்டம் (Compressible Fluid Flow)

10·1. முன்னுரை

எல்லாப் பாய்மங்களிலும் அழுத்த வேறுபாட்டால் அடர்த்தி மாறுபடுகிறது. இந்த அடர்த்தி மாறுபாடு வாயுக்களில் அதிக மாகவும் திரவங்களில் குறைவாகவும் இருக்கிறது. இதற்கு வாயுக் களைவிட திரவங்களில் மூலக்கூறுகள் (molecules) ஒன்றுக்கொன்று அருகில் இருப்பதே காரணம். பொறியியற் துறையில் நிகழும் வாயு ஓட்டங்களில் ஏற்படும் அழுத்த வேறுபாடு பல இடங்களில் மிகக் குறைவாக இருப்பதால் அந்த இடங்களில் அமுக்கமற்ற பாய்மங்களுக்கான விதிகளைப் பயன்படுத்துகிறோம். எங்கெல்லாம் அடர்த்தி மாறுபாட்டால் திசைவேகம், அழுத்தம், வெப்பநிலை முதலியன பாய்ம ஓட்டங்களில் குறிப்பிடத்தக்க அளவு வேறுபடுகின்றனவோ அங்கெல்லாம் முந்திய அத்தியாயங்களில் வருவித்த பல விதிகளைப் பயன்படுத்த முடியாது. அடர்த்தி மாறு பாடானது அதிகமான வேகத்தாலும், அல்லது அழுத்தத்தாலும் அல்லது திடீரென ஏற்படும் திசைவேக மாறுதலாலும் ஏற்படலாம்.

அடர்த்தியில் ஏற்படும் மாறுதலால் பாய்மத்தினுடைய அழுத்தம், வெப்பநிலை முதலியன வேறுபடுவதால் வெப்ப இயக்க விசையியல்(thermodynamics)பற்றிய கொள்கைகளை நாம் கையாள வேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. எனவே, பாய்மத்தின் அக ஆற்றல் (internal energy), வெப்பப் பரிமாற்றம் (heat transfer), உராய்வு இழப்பு (frictional loss) முதலியவற்றையும் பகுப் பாய்வுகளில் எடுத்துச் கொள்ள வேண்டும். இந்த அத்தியாயத் தில் நாம் வாயுக்களின் பாய்ச்சல்களைப் பற்றி மட்டுமே படிப்போம். திரவங்கள் சாதாரண அழுத்தங்களில் குறிப்பிடத்தக்க அளவு

அடர்த்தி மாறுபாடு அடைவதில்லை. நாம் பாகுநிலையற்ற வாயுக்களின் ஒரு பரிமாண, நிலையான பாய்ச்சல்களை மட்டும் நம் பகுப்பாய்வுக்கு எடுத்துக் கொள்வோம். பாகுநிலையற்ற அமுக்கப் பாய்மங்களுக்கு நிறைவுடை பாய்மம் (perfect fluid)எனப் பெயர். வெப்ப இயக்கவிசையியல் பற்றிய பல அடிப்படைத் தத்துவங்களை முதலில் விளக்கிவிட்டு, அமுக்கப் பாய்மத்திற்கான இயக்கச் சமன்பாட்டையும் (equation of motion), வாயுவின் உலைவால் (disturbance) ஏற்படும் மீட்சி அலை (elastic wave) வேகத்தையும், அதிர்ச்சி அலைகள் (shock waves) பற்றிய அடிப்படைக் கருத்துக்களையும் இந்த அத்தியாயத்தில் வருவிப்போம். பரப்பளவு மாறும் பாதைகளில் அமுக்கப் பாய்ம பாய்ச்சல் பற்றிய தன்மைகளும், குழாய்களில் உராய்வால் அமுக்க ஓட்டத்தில் ஏற்படும் விளைவுகளும், அமுக்கப் பாய்ம ஓட்டத்தை அளக்கும் வழிகளும் விளக்கப்பட்டுள்ளன.

அமுக்கப் பாய்மப் பாய்ச்சல் பல பொறியியற் சாதனங்களில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன அல்லது நிகழ்கிறது. காற்றின் அழுத்தத்தால் இயங்கும் எந்திரங்கள், விமானவியல் (aeronautics), விண்ணியல் (astronautics), குழாய்களின் வழி நீராவி பாய்தல் போன்ற பல பொறியியற் துறைகளிலும் சாதனங்களிலும் அமுக்கப் பாய்மம் பற்றிய ஓட்டங்களின் கொள்கைகள் பயன்படுகின்றன.

10·2. அடிப்படை வெப்ப இயக்கவிசையியற் தொடர்புகள்

அமுக்கப் பாய்ம ஓட்டம் பற்றி படிப்பதற்குத் தேவையான வெப்ப இயக்கவிசையியல் பற்றிய உண்மைகள் இந்தப் பகுதியில் விளக்கப்பட்டுள்ளன. நாம் நிறைவுடை வாயுவை எடுத்துக் கொள்வோம். சாதாரண நிலைமைகளில் பெரும்பாலான வாயுக்களும், காற்றும் நிறைவுடை பாய்மத்திற்கான குணங்களை உடைத்தாக இருப்பதால் இந்நூலில் நிறைவுடை பாய்மம் பகுப்பாய்வுக்கு எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டுள்ளது. மேலும், பாய்ச்சலானது ஒரு பரிமாண, நிலையான தன்மைகளையுடையதெனக் கருதுவோம்.

10·3. நிறைவுடை வாயுவின் நிலைச்சமன்பாடு (Equation of State for a Perfect Gas)

வாயுவின் மூன்று சிறப்பியல்புகளான அழுத்தம், நிறையலகு பருமன் (specific volume), வெப்பநிலை ஆகியவற்றின் தொடர்பை நிலைச்சமன்பாடு விளக்குகிறது. கீழ்க்கண்ட நிலைச்சமன்பாட்டை பூர்த்தி செய்யும் எந்த .வாயுவும் நிறைவுடை வாயுவாகும்.

$$pv=RT \tag{10·1}$$

இதில் p = தனி அழுத்தம் கிகிஎ/செமீ² (நி/மீ²)

v = நிறையலகு பருமன், மீ³/கிகி (மீ³/கிகி)

R = வாயு மாறிலி, கிகிஎ-மீ/கிகி °கெ (ஜூல்/கிகி °கெ)

T = தனி வெப்பநிலை (கெல்வினில்)

காற்றின் வாயுமாறிலியின் மதிப்பு 29·2 கிகிஎ-மீ/கிகி °கெ அல்லது 287 ஜூல்/கிகி °கெ ஆகும். இந்தச் சமன்பாட்டை வாயுவானது வெப்ப இயக்க விசைச் சமநிலையில் (thermodynamic equilibrium) இருக்கும்போது பயன்படுத்தலாம். ஆனால் நடைமுறையில் சம நிலையிலிருந்து அதிகமாக மாறுபட்டிருந்த நிலைமைகளுக்கும் பயன் படுத்தலாம். பொருண்மை m ஆனால் சமன்பாடு 10·1-ஐ

$$pV = mRT \tag{10·2}$$

என எழுதலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 10·1 (MKS). 5 கிகி நிறையுள்ள காற்றின் கன அளவு 100°C வெப்பநிலை, 2·55 கிகிஎ/செமீ² மானி அழுத்தத் தில் என்ன?

$m = 5$ கிகி $\quad R = 29{\cdot}57$ கிகிஎ-மீ/கிகி °கெ

$t = 100°C$

$p = 2{\cdot}55$ கிகிஎ/செமீ² (மானி)

வெளிமண்டல அழுத்தத்தை 1·03 கிகிஎ/செமீ² என எடுத்துக் கொண்டால்,

$p = 2{\cdot}55 + 1{\cdot}03 = 3{\cdot}58$ கிகிஎ/செமீ² (தனி)

$T = 100 + 273 = 373°$கெ

சமன்பாடு 10·1-ஐப் பயன்படுத்தி,

$$V = \frac{5 \times 29{\cdot}57 \times 373}{3{\cdot}58 \times 10^4} = 1{\cdot}53 \text{ மீ}^3$$

மாதிரிக் கணக்கு 10·1 (SI). 5 கிகி நிறையுள்ள காற்றின் கன அளவு 100°C வெப்பநிலை, 250 கிநி/மீ² மானி அழுத்தம் இவற்றில் என்ன?

$m = 5$ கிகி $\quad t = 100°C$

$p = 250$ கிநி/மீ² $\quad R = 0{\cdot}287$ கிஜூல்/கிகி °கெ

வெளிமண்டல அழுத்தத்தை 100 கிநி/மீ^{2} என எடுத்துக் கொண்டால்,

$p = 250 + 100 = 350$ கிநி/மீ^{2}

$T = 100 + 273 = 373°$கெ

சமன்பாடு 10·1-ஐப் பயன்படுத்தி,

$$V = \frac{5 \times 0{\cdot}287 \times 373}{350} = 1{\cdot}53 \text{ மீ}^3.$$

10·4. வெப்ப எண்களும் அவற்றின் தொடர்புகளும் (Specific Heats and their Relationships)

ஒரு அலகு பொருண்மையுள்ள வாயுவின் வெப்பநிலை ஒரு டிகிரி கெல்வின் அளவு அதிகரிப்பதற்குத் தேவையான வெப்பத்தை வெப்ப எண் (specific heat) என்கிறோம். பருமனளவை மாற்றாது வைத்துக் கொண்டு, வெப்பநிலையை அதிகரிப்பதால் தேவைப்படும் வெப்பத்திற்குப் பருமனளவு மாறா வெப்ப எண் (specific heat at constant volume) எனப் பெயர். இதை C_v என்று குறிக்கிறோம். இதே போல் C_p என்பது ஒரு அலகு பொருண்மையுள்ள வாயுவின் வெப்பநிலையை ஒரு டிகிரி வெப்பநிலை அளவிற்கு அதன் அழுத்தம் மாறாது அதிகரிக்கத் தேவையான வெப்பத்திற்குச் சமமாகும். இந்த வெப்ப எண்களின் மதிப்புகள் உண்மையில் வெப்பநிலைக் கேற்ப சிறிது மாறுபடுகின்றன. ஆனால் நடைமுறையில் பொறியியற் துறையில் கையாளப்படும் வெப்பநிலைகளில் இந்த மாறுபாட்டைப் புறக்கணித்துவிடலாம். இருந்தபோதிலும் வெப்ப எண்களின் விகிதமான C_p/C_v எந்த வெப்பநிலையிலும் மாறிலியாகும். காற்றிற்கு

$C_p = 0{\cdot}24$ கி கா/கிகி °கெ (1·005 கிஜூல்/கிகி °கெ),

$C_v = 0{\cdot}17$ கி கா/கிகி °கெ (0·718 கிஜூல்/கிகி °கெ), $k = 1{\cdot}4$

ஆகும். இப்போது வெப்ப எண்களுக்கும் வாயு மாறிலிக்குமுள்ள தொடர்பை வருவிப்போம்.

வெப்ப இயக்கவிசையியலின் முதல் விதிப்படி, ஒரு தொடர் நிகழ்ச்சியில் (process) ஒரு அமைப்பில் (system) இடப்படும் வெப்பமானது, அந்த அமைப்பில் அதிகரிக்கும் அக ஆற்றல், அந்த அமைப்பு புறத்தில் செய்யும் வினை ஆகிய இரண்டின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும் என அறிவோம். ஜூல் (Joule) என்ற விஞ்ஞானி ஒரு வாயுவின் பொருண்மைக்கு இடப்படும் அக ஆற்றலான (internal energy) U, அந்த வாயுவின் வெப்பநிலையை மட்டும் பொருத்தது எனக் காட்டியுள்ளார். அக ஆற்றலான U,

அந்த வாயுவின் அழுத்தம், பருமனளவு ஆகியவற்றைப் பொருத்த தல்ல. இப்போது முதல்விதியை, மாறாத பருமனளவு தொடர் நிகழ்ச்சிக்குட்படும் ஒரு அலகு பொருண்மையுள்ள வாயுவிற்குப் பயன்படுத்துவோம். இந்தத் தொடர் நிகழ்ச்சியில் வெப்பநிலை T_1-லிருந்து T_2-க்கு மாறும்போது அக ஆற்றலில் ஏற்படும் வேறுபாடானது,

$$Q = \Delta U = C_v(T_2 - T_1) \tag{10·3}$$

இதில் C_v வாயுவின் மாறாத பருமனளவு வெப்ப எண்ணையும் T_2 இறுதி வெப்பநிலையை கெல்வினிலும் T_1 தொடக்க வெப்பநிலையை கெல்வினிலும் குறிக்கின்றன. பருமனளவு மாறுபடவில்லையாத லால் எவ்வித புறவினையும் ஏற்படவில்லை. எனவே, எல்லா வெப்ப ஆற்றலும் அக ஆற்றலை அதிகரிக்கவே பயன்படுகிறது.

இப்போது அந்த அலகு பொருண்மையுள்ள வாயுவானது மாறாத அழுத்தத்தில் அதே வெப்பநிலை உயர்வுக்கு வெப்பப் படுத்தப்பட்டால் பருமனளவில் மாறுதல் ஏற்படுவதால் புறவினை நிகழ்கிறது. எனவே, வாயுவிற்குக் கொடுக்கப்பட்டுள்ள வெப்பத் தில் ஒரு அளவு இந்தப் புறவினையைச் செயல்படுத்தப் பயன் படுகிறது. எஞ்சிய வெப்பம் அக ஆற்றலை அதிகரிக்கச் செய்கிறது. ஆகையால்,

$$dQ = dU + dW = C_v dT + p dv$$

$$Q = \Delta U + W = C_p(T_2 - T_1) \tag{10·4}$$

இப்போது அக ஆற்றலில் ஏற்படும் மாறுதல் வெப்பநிலையை மட்டும் சார்ந்ததால், அக ஆற்றலானது $C_v(T_2 - T_1)$ வினையான $p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1)$ இவற்றின் கூட்டுத் தொகைக்கு மாறாத அழுத்தத் தொடர் நிகழ்ச்சியில் சமமாகும். எனவே,

$$C_p(T_2 - T_1) = C_v(T_2 - T_1) + R(T_2 - T_1)$$

$$\therefore \quad C_p - C_v = R \tag{10·5}$$

வெப்ப எண் விகிதமான k-யைச் சமன்பாடு 10·1-ல் இட்டால்,

$$C_p = \frac{k}{k-1} R \; ; \qquad C_v = \frac{R}{k-1} \tag{10·6}$$

எனக் காட்டலாம்.

பாய்மமானது அதனுடைய மூலக்கூறுகளின் அசைவுகளாலே தான் வெப்பநிலையை மட்டும் சார்ந்த அக ஆற்றலை உடைய தாக இருக்கிறது. இந்த மூலக்கூறு ஆற்றல் மூலக்கூறுகள்

ஒன்றையொன்று ஈர்ப்பதால் ஏற்படும் இயக்கத்தினுலுண்டாகிறது. நிறைவுடை வாயுவிற்கு இந்த இயக்கம் இல்லையாதலால் இந்த அக ஆற்றல் சுழியாகும். பெரும்பாலான வாயுக்களுக்கு நடைமுறையிலுள்ள அழுத்தம், வெப்பநிலைகளில் மூலக்கூறுகளுக்கிடையேயுள்ள தூரம் அதிகமாக இருக்குமாதலால் அக ஆற்றல் சுழியாக இருக்கும். பெரும்பாலான கணக்குகளில் நமக்கு அக ஆற்றலின் தனி மதிப்பு (absolute value) தேவையில்லை; இரண்டு அக ஆற்றல்களின் வேறுபாடே அவசியமாக இருக்கிறது. அக ஆற்றல் வெப்ப ஆற்றலாக வாயுக்களில் சேகரித்து வைக்கப்படுகிறது. இந்த வெப்ப ஆற்றலானது இடம் பெயர வேண்டுமானுல் வெப்பநிலையில் வேறுபாடு இருக்க வேண்டும்.

10·5. என்ட்ரபி (Entropy)

வெப்ப ஆற்றலானது முதல் நிலையிலிருந்து இரண்டாவது நிலையை அடைந்திருக்குமானுல், முதல் விதிப்படி,

$$dQ = C_v dT = p dv$$

T-யால் வகுத்து எல்லைகள் 1, 2-க்குள் தொகையிட்டால்,

$$\int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_1^2 C_v \frac{dT}{T} + \int_1^2 \frac{p dv}{T}$$

ஆனுல் $pv = RT$

$$\int_1^2 \frac{dQ}{T} = \int_1^2 C_v \frac{dT}{T} + \int_1^2 R \frac{dv}{v}$$

T-யின் மதிப்பு மாருமல் இருக்கிறது என எடுத்துக்கொண்டு,

$$\int_1^2 \frac{dQ}{T} = C_v \log_e \frac{T_2}{T_1} + R \log_e \frac{v_2}{v_1}$$

இதிலிருந்து $\int_1^2 \frac{dQ}{T}$ என்பது அந்த வாயுவின் தொடக்க, இறுதி நிலைகளைப் பொறுத்தே இருக்கவேண்டுமெனத் தெரிகிறது. தொடக்க நிலையிலிருந்து இறுதி நிலையை அந்த வாயு எவ்வாறு

அடைந்தது என்பது நமக்கு அவசியமில்லை. எனவே, என்ட்ரபி என்பது வாயுக்களின் அடிப்படைச் சிறப்பியல்புகளில் (property) ஒன்றெனக் கொள்ளலாம். இரண்டு நிலைகளுக்குமுள்ள என்ட்ரபி வேறுபாடானது இப்போது

$$s_2 - s_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \qquad (10{\cdot}7)$$

இதில் s_2 இரண்டாவது நிலையிலுள்ள என்ட்ரபியையும், s_1 முதலாவது நிலையிலுள்ள என்ட்ரபியையும் குறிக்கும். நமக்கு என்ட்ரபிகளின் வேறுபாடே தேவைப்படுகிறது; என்ட்ரபியின் தனிமதிப்பு அவசியமில்லை.

மாதிரிக் கணக்கு 10·2. வளிமண்டல அழுத்தத்தில் காற்றின் வெப்பநிலை 20°C-லிருந்து 30°C-ஆக அதிகரிக்கும்போது காற்றில் ஏற்படும் என்ட்ரபி வேறுபாடு என்ன? நிறை அலகு பருமனளவு முறையே 0·83 மீ³/கிகி, 0·94 மீ³/கிகி ஆகும்.

$$\triangle s = s_2 - s_1 = C_v \log_e \frac{T_2}{T_1} + R \log_e \frac{v_2}{v_1}$$

$$\triangle s = 0{\cdot}718 \times 2{\cdot}303 \log \frac{333}{293} + 0{\cdot}287 \times 2{\cdot}303 \log \frac{0{\cdot}94}{0{\cdot}83}$$

$$= 0{\cdot}0913 + 0{\cdot}0358$$

$$= 0{\cdot}1271 \text{ கி ஜூல்/கிகி °கெ.}$$

10·6. பல்வகைத் தொடர் நிகழ்ச்சிகள் (Various Processes)

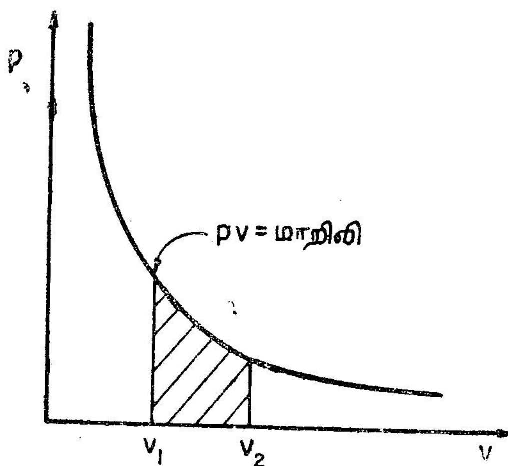
வாயுக்களானது ஒரு நிலையிலிருந்து பிரிதொரு நிலையை கீழ்க் கண்ட முறைகளில் அடையலாம். (1) சமபருமனளவு முறை (Isochoric process)—இம் முறையில் வாயுவின் பருமனளவு மாறுமல் நிகழ்ச்சி ஏற்படுகிறது. (2) சம அழுத்த முறை (Isobaric process)—இந்தத் தொடர் நிகழ்ச்சியில் அழுத்தமானது மாறுமல் வைத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. (3) வெப்பநிலை மாறு முறை (Isothermal process)—இத்தொடர் நிகழ்ச்சியில் வெப்பநிலையானது மாறுமல் வைத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. (4) வெப்ப மாற்றீடற்ற முறை (Adiabatic process)—இம் முறையில் வெப்பமானது அந்த அமைப்பை விட்டு வெளிச் செல்வதில்லை.

கடைசி இரண்டு தொடர் நிகழ்ச்சிகளும் நடைமுறையில் அதிகமாகப் பயன்படுவதால் அவற்றைப்பற்றி மட்டும் இங்கு

படிப்போம். இம்முறைகளில் ஏற்படும் வினைகளின் அளவையும், வெப்ப அளவையும், வாயுச் சிறப்பியல்புகளின் தொடர்புகளையும் நாம் பின்வரும் பகுதிகளில் வருவிப்போம்.

10·7. வெப்பநிலை மாரு முறை

இத் தொடர் நிகழ்ச்சியில் ஒரு அமைப்பின் அழுத்தமும் பருமனளவும் மாறுகின்றன; வெப்பநிலை மாறுவதில்லை. ஆகவே, சமன்பாடு 10·1-லிருந்து,



படம் 10·1. வெப்பநிலை மாரு முறை

$$p_1 v_1 = p_2 v_2 = pv = \text{மாறிலி} \qquad (10{\cdot}8)$$

செய்யப்படும் வினையானது $\int_1^2 p\,dv$-க்குச் சமமாகும். இதைப் படம் 10·1-ல் கோடிட்ட பரப்பால் காட்டப்பட்டுள்ளது. ஆனல் $p = \frac{p_1 v_1}{v}$ ஆகும். இதை மேலேயுள்ள வினையைக் குறிக்கும் சமன்பாட்டில் இட்டால்,

$$W = \int_{v_2}^{v_1} p_1 v_1 \frac{dv}{v} = p_1 v_1 \log_e \frac{v_2}{v_1}$$

$p_1 v_1 = RT$-ஆக இருப்பதால்,

$$W = p_1 v_1 \log_e \frac{v_2}{v_1} = RT \log_e \frac{v_2}{v_1} \qquad (10{\cdot}9)$$

வெப்பநிலை மாறு முறையில் $T_2=T_1$. ஆகவே, அக ஆற்றலின் வேறுபாடானது $\triangle U=C_v(T_2-T_1)=0$. எனவே, வெப்ப இயக்க விசையியலின் முதல் விதிப்படி $Q=W$ ஆகும். ஆகையால் வாயுவால் அடையப்பட்ட எல்லா வெப்பமும் வினை செய்யப் பயன்படுகிறது. வெப்பநிலை மாறு அமுக்கத்தில் (compression) வெப்பமானது வெளியே நிராகரிக்கப்படுகிறது (reject); வெப்ப நிலைமாறு விரிவடைதலில் (expansion) வெப்பமானது ஏற்றுக் கொள்ளப்படுகிறது (receive). என்ட்ரபி வேறுபாடானது $\triangle s=s_2-s_1=\dfrac{Q}{T}$ ஆகும்.

10·8. வெப்ப மாற்றீடற்ற முறை

இத்தொடர் நிகழ்ச்சியில் அமைப்பிலிருந்து வெளி ஊடகத்திற்கு வெப்பம் வெளிச் செல்லவோ அல்லது வெளியிலிருந்து அமைப்பிற்கு உள்வரவோ முடியாதபடி அமைப்பின் உறையானது ஆக்கப்பட்டிருக்கிறது. எனவே, $Q=0$ ஆகும். நடைமுறையில் எல்லாப் பொருள்களும் சிறிதளவாவது வெப்பத்தைக் கடத்துகின்றன. இருப்பினும் ஒரு அமைப்பில் ஏற்படும் வெப்ப-வினைப் பரிமாற்றத்தோடு ஒப்பிடும்போது இந்த அளவு மிகக் குறைவாக இருப்பதால், அப்படிப்பட்ட அமைப்புகள் வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் இயங்குவதாகக் கொள்ளப்படுகின்றன. மேலும் வெகு குறுகிய நேரத்தில் நிகழும் நிகழ்ச்சிகளையும் இம்முறையில் சேர்க்கலாம். இலட்சிய வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையை அடைவது நடைமுறையில் சாத்தியமல்ல. இருந்தபோதிலும் இலட்சிய வெப்ப மாற்றீடற்ற தொடர் நிகழ்ச்சியில்,

$$dQ=dU+pdv=0 \qquad (10{\cdot}10)$$

சமநிலைச் சமன்பாட்டிலிருந்து $pdv+vdp=RdT$ ஆதலாலும் $dV=C_vdT$-ஆக இருப்பதாலும்,

$$C_v\,\frac{(pdv+vdp)}{R}+pdv=0$$

சமன்பாடு 10·6-லிருந்து C_v சமமான மதிப்பை இட்டு, தொகையிட்டால்,

$$\log p+k\log v=C$$

இதில் C என்பது தொகையீட்டு மாறிலியாகும். இதையே

$$pv^k=\text{மாறிலி} \qquad (10{\cdot}11)$$

என எழுதலாம். இதற்கு வெப்ப மாற்றீடற்ற சமன்பாடு எனப் பெயர்.

வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் விரிவால் (expansion) ஏற்படும் வினையை அழுத்தம், பருமனளவு ஆகியவற்ருல் கீழ்க்கண்டபடி விளக்கலாம். படம் 10·1-ல் உள்ளபடி நிலை 1-லிருந்து நிலை 2-ற்கு போகும்போது தேவைப்படும் வினையானது,

$$W=\int_{v_1}^{v_2} p\,dv$$

ஆனல் $p_1 v_1{}^k = p_2 v_2{}^k = p v^k =$ மாறிலி

எனவே,

$$W = p_1 v_1{}^k \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v^k} = \frac{p_1 v_1{}^k}{(1-k)} (v_2{}^{1-k} - v_1{}^{1-k})$$

$$W = \frac{p_1 v_1 - p_2 v_2}{k-1} \qquad (10{\cdot}12)$$

வெப்ப இயக்கவிசையியலின் முதல் விதியைப் பயன்படுத்தினல், $Q=0$. எனவே,

$$U_2 - U_1 + W = 0$$

அல்லது $U_1 - U_2 = W$

அதாவது

$$U_1 - U_2 = \frac{p_1 v_1 - p_2 v_2}{(k-1)} \qquad (10{\cdot}13)$$

வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் விரிவு (expansion) ஏற்படும்போது அக ஆற்றலில் குறைவு ஏற்படுகிறது. இப்போது $dQ=0$. ஆகையால் என்ட்ரபி வேறுபாடு சுழியாகும். அதாவது$(s_2 - s_1) = 0$.

வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் தொடக்க, இறுதி நிலைகளில்,

$$p_1 v_1{}^k = p_2 v_2{}^k$$

சமநிலைச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினல்,

$$p_1 v_1 = RT_1 \quad ; \quad p_2 v_2 = RT_2$$

மேலே உள்ள சமன்பாடுகளிலிருந்து,

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{(k-1)} \qquad (10{\cdot}14)$$

என நிரூபிக்க முடியும்.

திரும்பக்கூடிய வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையை (reversible adiabatic process) தடையற்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற முறை (isentropic process) என்கிறோம். வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் $dQ=0$. ஆனால் நடைமுறையில் எந்தத் தொடர் நிகழ்ச்சியிலும் சிறிதளவாவது வெப்பப் பரிமாற்றம் ஏற்படுகிறது. எனவே, இந்த நடைமுறை நிகழ்ச்சிகளுக்கு அடுக்குக் குறி k-க்குப் பதில் n கையாளப் படுகிறது. இவ்வாறான நடைமுறை நிகழ்ச்சிகளுக்கு பாலிடிராபிக் தொடர் நிகழ்ச்சி (polytropic process) எனப் பெயர். தடையற்ற, வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையிலும், பாலிடிராபிக் முறையிலும் உள்ள சமன்பாடுகள், அவற்றின் அடுக்குக் குறியிலுள்ள வேறுபாடுகளைத் தவிர மற்றவைகளில் ஒரே மாதிரியாக இருக்கும். எனவே, தடையற்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற முறைக்கு நாம் வருவிக்கும் சமன்பாடுகள் அனைத்தையும் பாலிடிராபிக் முறைக்கு அவற்றின் அடுக்குக் குறியை k-யிலிருந்து n-ஆக மாற்றி பயன்படுத்தலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 10·3. 3 கிகி பொருண்மையுள்ள காற்று தொடக்க நிலையான $p_1=9$ கிகிஎ/செமீ² (மானி), $t_1=250°C$-விருந்து இறுதிநிலைக்கு விரிவடையும்போது $p_2=1$ கிகிஎ/செமீ² ஆகும். இறுதிப் பருமனளவு, வெப்பநிலை இவற்றைக் காண். காற்று (அ) வெப்ப மாற்றீடற்ற முறை (ஆ) வெப்பநிலைமாறு முறை (இ) பாலிடிராபிக் முறை இவற்றால் விரிவடைந்தால் ஒவ்வொரு முறையிலும் தேவைப்படும் வினையளவு என்ன? $n=1{\cdot}2$.

$m=3$ கிகி

$p_1=9+1{\cdot}03=10{\cdot}03$ கிகிஎ/செமீ²

$T_1=250+273=523°$கெ

$p_2=1+1{\cdot}03=2{\cdot}03$ கிகிஎ/செமீ²

தொடக்கப் பருமன், $V=\dfrac{mRT_1}{p_1}$

$$=\frac{3\times 29{\cdot}3\times 523}{10{\cdot}03\times 10^4}=0{\cdot}446 \text{ மீ}^3$$

(அ) வெப்ப மாற்றீடற்ற முறை

இறுதிப் பருமனளவு $V_2=\left(\dfrac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{k}} V_1=\left(\dfrac{10{\cdot}03}{2{\cdot}03}\right)^{\frac{1}{1\cdot 4}}\times 0{\cdot}446$

$$=1{\cdot}44 \text{ மீ}^3$$

இறுதி வெப்பநிலை $T_2 = \frac{p_2 v_2}{mR} = \frac{2{\cdot}03 \times 10^4 \times 1{\cdot}44}{3 \times 29{\cdot}3}$

$= 334°$கெ.

$t_2 = 61°C.$

தொழிற்பட்ட வினை $= \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{(k-1)}$

$= \frac{(10{\cdot}3 \times 0{\cdot}466 - 2{\cdot}03 \times 1{\cdot}44)10^4}{(1{\cdot}4 - 1{\cdot}0)}$

$= 4{\cdot}15 \times 10^4$ கிகிள-மீ

(ஆ) வெப்பநிலை மாறு முறை

இறுதிப் பருமனளவு $V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{10{\cdot}03}{2{\cdot}03} \times 0{\cdot}466$

$= 2{\cdot}26$ மீ^{3}

வினை $= mRT_1 \log_e \frac{V_2}{V_1}$

$= 3 \times 29{\cdot}3 \times 523 \times \log_e 5$

$= 7{\cdot}38 \times 10^4$ கிகிள-மீ

(இ) பாலிடிராபிக் முறை

இறுதிப் பருமனளவு $V_2 = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}} V_1$

$= \left(\frac{10{\cdot}03}{2{\cdot}03}\right)^{\frac{1}{1.2}} \times 0{\cdot}446$

$= 1{\cdot}76$ மீ^{3}

இறுதி வெப்பநிலை $T_2 = \frac{p_2 V_2}{mR} = \frac{2{\cdot}03 \times 10^4 \times 1{\cdot}76}{3 \times 29{\cdot}3}$

$= 407°$கெ

$t_2 = 134°C$

வினை $= \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{k-1} = \frac{(10{\cdot}03 \times 0{\cdot}441 - 2{\cdot}03 \times 1{\cdot}76) \times 10^4}{1{\cdot}2 - 1}$

$= 1{\cdot}025 \times 10^4$ கிகிள-மீ

மாதிரிக் கணக்கு 10·4. 1 கிகி பொருண்மையுள்ள காற்று பாலிடிராபிக் முறையில் $t_1 = 150°C$-லிருந்து $t_2 = 50°C$ நிலையை அடைகிறது. இந்த முறையில் வெப்பக் கொள்ளளவு (heat capacity) மாறாததாகக் கருதப்படுகிறது. இப்போது செய்யப் பட்ட வினை, அக ஆற்றல் வேறுபாடு, வெப்ப அளவு இவற்றை $n = 1·3$ என்ற மதிப்பிற்குக் கணக்கிடு.

$m = 1$ கிகி

$n = 1·3$

$T_1 = 150 + 273 = 423°$கெ

$T_2 = 50 + 273 = 323°$கெ

$R = 0·287$ கி ஜூல்/கிகி °கெ

$$\text{வினை} = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{n-1} = \frac{m(RT_1 - RT_2)}{n-1}$$

$$= \frac{1 \times 0·287\ (423 - 323)}{1·3 - 1·0}$$

$$= \frac{0·287 \times 100}{0·3} = 95·6 \text{ கிஜூல்}$$

அக ஆற்றல் வேறுபாடு $\triangle U = mC_v(T_2 - T_1)$

$$= 1 \times 0·72\ (323 - 423)$$

$$= -72 \text{ கிஜூல்}$$

வெப்ப அளவு $= U + W$

$$= -72 + 95·6 = 23·6 \text{ கி ஜூல்}$$

விரிவடையும் போது வெப்பம் ஏற்றுக் கொள்ளப்படுகிறது.

10·9. அமுக்கப் பாய்ம ஓட்டங்களின் அடிப்படைச் சமன்பாடுகள்

தொடர், உந்த, ஆற்றல் சமன்பாடுகள் அமுக்கப் பாய்மத்தின் அடிப்படைச் சமன்பாடுகளாகும். இந்தச் சமன்பாடுகளை ஒரு பரிமாண, நிலையான, பாகுநிலையற்ற ஓட்டங்களுக்கு இந்தப் பகுதியில் வருவிப்போம். இந்தச் சமன்பாடுகள் ஒவ்வொன்றும் தனித்தனியாக வருவிக்கப்பட்டுள்ளன.

10·10. தொடர்ச் சமன்பாடு (Continuity Equation)

ஒரு பரிமாண, நிலையான பாய்ச்சலில் ஒரு அலகு நேரத்தில் ஓர் அமைப்பின் பல வெட்டுமுகங்களில் பாயும் பொருண்மை யானது சமமாக இருக்கவேண்டும். எனவே,

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \text{மாறிலி}$$

இதில் ρ அடர்த்தியையும், A பாய்மம் பாயும் பாதையின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பையும், V திசைவேகத்தையும் குறிக்கும். இவற்றிற்கு மடக்கை (logarithm) கண்டு வகையிட்டால்,

$$d(\log_e \rho A V) = 0$$

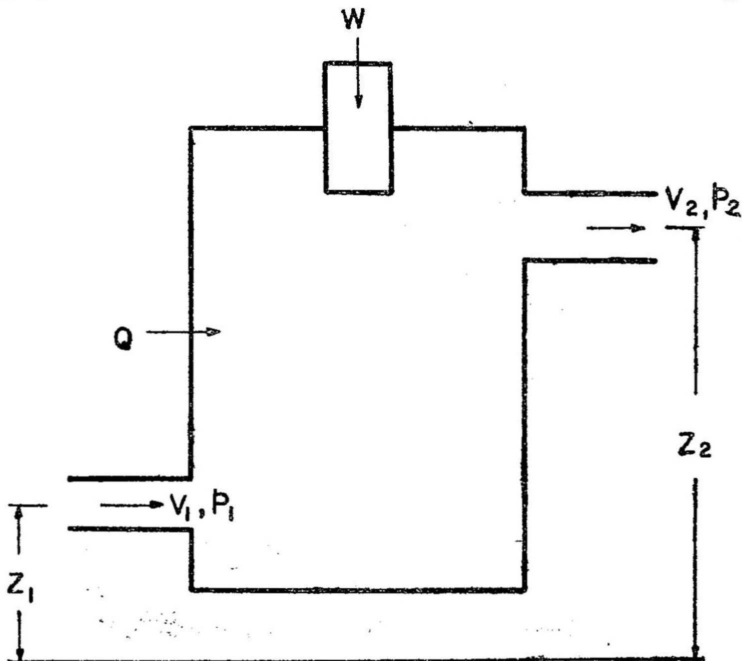
எனவே,

$$\frac{d\rho}{\rho} + \frac{dV}{V} + \frac{dA}{A} = 0 \qquad (10\cdot15)$$

இது ஒரு பரிமாண, நிலையான அமுக்கப் பாய்ச்சலுக்கான வகை யீட்டு அமைப்பையுடைய தொடர்ச் சமன்பாடு ஆகும்.

10·11. ஆற்றல் சமன்பாடு (Energy Equation)

சீரான, நிலையான, தொடர்ச்சியாக உள்ள பாய்ச்சலுக்கான ஆற்றல் சமன்பாட்டை வருவிப்போம். படம் 10·2-ல் உள்ள ஒரு



படம் 10·2. ஒரு அமைப்பின் வழி அமுக்கப் பாய்மப் பாய்ச்சல்

ஓரம் திறந்த அமைப்பில் பாய்மத்தின் நிறை ஒரே வீதத்தில் பாய்ந்து கொண்டிருப்பதாக எடுத்துக் கொள்வோம். வெப்பப் பரிமாற்ற வீதமும் வினை செய்யும் வீதமும் சீராகவும் நிலையாகவும் இருக்கும் இந்த அமைப்பில், 1 என்ற இடத்தில் பாயும் பாய்மத்தின் பொருண்மை வீதமும் 2 என்ற இடத்தையும் அதே வீதத்தில் கடக்கும். நாம் வருவிக்கும் சமன்பாடு பொதுப் படையாக இருக்க அமைப்பின் சுவரின் வழியாக வெப்பம் உள் வருவதாகவும் எடுத்துக் கொள்வோம். எனவே, பாய்மம் அமைப் பின்வழி செல்லும்போது அதன் மொத்த ஆற்றல் அதிகரிக் கிறது. இந்த அதிகரிப்பானது வெளியிலிருந்து உள்ளே வரும் பாய்மத்தின் மேல் செய்யப்படும் வினை இவற்றின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம். எனவே, விநாடிக்கு ஒரு அலகு பொருண்மை யளவான பாய்மம் பாயும்போது, சீரான நிலையான பாய்ச்சலில்,

$$gZ_1+\tfrac{1}{2}V_1^{\,2}+p_1v_1+U_1+Q+W=gZ_2+\frac{V_2^{\,2}}{2}+p_2v_2+U_2 \qquad (10{\cdot}16)$$

இதில்

$Z=$ மட்ட ஆற்றல்

$\dfrac{V^2}{2}=$ இயக்க ஆற்றல்

$U=$ அக ஆற்றல்

$Q=$ வெப்பப் பரிமாற்றம்

$W=$ பாய்மத்தில் ஏற்படும் புறவினை

$pv=$ பாய்ச்சல் வினை (flow work)

ஆகும்.

இந்தச் சமன்பாடு 10·16-ல் உள்ள pv என்ற உறுப்பு வாயு வானது இடம் பெயர்வதால் ஏற்படும் பாய்ச்சல் வினையைக் (flow work) குறிக்கும். இந்த உறுப்பானது பாய்மம் பாயும்போது தான் இருக்கும். ஒரு அமைப்பின் அகத்தே அல்லது புறத்தே பாய்மத்தை அனுப்புவதற்கு இந்த வினை தேவைப்படும். இந்த பாய்ச்சல் வினை pv-யையும், அக ஆற்றலானது U-வையும் சேர்த்து எந்தால்பி (enthalphy) என்று அழைக்கிறோம்.

$$h=U+pv \qquad (10{\cdot}17)$$

எனவே, ஆற்றல் சமன்பாடானது,

$$gZ_1+\frac{V_1^{\,2}}{2}+h_1+Q+W=gZ_2+\frac{V_2^{\,2}}{2}+h_2 \qquad (10{\cdot}18)$$

இந்தப் பொதுப்படையான ஆற்றல் சமன்பாட்டை பயன்படுத்து வதற்கு வசதியான முறையில் அதன் அமைப்பை மாற்றி அமைக்க லாம். வாயுக்களின் எடை மிகக் குறைவாக இருக்குமாதலால் மட்ட வேறுபாட்டைக் குறிக்கும் Z உறுப்பை புறக்கணித்து விடலாம். குழாய்கள் அல்லது கடத்திகள் வழியாகப் பாயும் பாய்மங்களில் வெளியிலிருந்து எந்தவிதமான வினையும் பாய்மத்தில் செய்யப்படவில்லையாதலால் W-வின் மதிப்பு சுழியாகும்.

வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் $Q=0$. எனவே, குழாய்வழி பாயும் பாய்ச்சலுக்கு சமன்பாடு 10·16 ஆனது

$$p_1 v_1 - p_2 v_2 = (U_2 - U_1) + \frac{V_2{}^2 - V_1{}^2}{2}$$

சமன்பாடுகள் 10·1, 10·3-ஐப் பயன்படுத்தி,

$$RT_1 - RT_2 + C_v(T_1 - T_2) = \frac{V_2{}^2 - V_1{}^2}{2}$$

ஆனால் $$C_v = C_p - R$$

எனவே,

$$(T_1 - T_2)C_p = \frac{V_2{}^2 - V_1{}^2}{2}$$

சமன்பாடு 10·6-லிருந்து C_p-க்கும், சமன்பாடு 10·14-லிருந்து $\frac{T_2}{T_1}$-க்கும் உள்ள மதிப்புகளை இட்டால்,

$$\frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right] = \frac{V_2{}^2 - V_1{}^2}{2} \qquad (10{\cdot}19)$$

என்ற ஆற்றல் சமன்பாடு கிடைக்கும். இதை வாயுக்களுக்கான பெர்னுலிச் சமன்பாடு என்கிறோம். இச்சமன்பாடு துளைகள் (orifices), முனைகள் (nozzles), பாயுவீதமானிகள் (flow meters) முதலியவற்றில் பயன்படுகிறது.

சமன்பாடு 10·19-ஐ நிலையான, தடையற்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற முடைய பாய்ச்சலில் இழைக் கோட்டில் நிகழும் இயக்கத்திற்குப் பயன்படும் ஆய்லர் சமன்பாட்டிலிருந்தும் வருவிக்கலாம். ஆய்லர் சமன்பாடானது,

$$\int \frac{dp}{\rho} + \frac{V^2}{2} + gZ = \text{மாறிலி}$$

இதில் ρ என்ற அடர்த்தி p என்ற அழுத்தத்திற்குச் சார்புடையது. ஆனல் $pv^k=C$. அதாவது $\frac{1}{\rho}=\left(\frac{C}{p}\right)^{\frac{1}{k}}$. இந்த மதிப்பை முதல் உறுப்பில் இட்டு, தொகுத்தால்,

$$\left(\frac{k}{k-1}\right)pv+\frac{V^2}{2}+gZ= \text{மாறிலி}$$

இந்தச் சமன்பாட்டை இழைக் கோட்டில் 1, 2 புள்ளிகளில் செயற்படுத்தினல்,

$$\left(\frac{k}{k-1}\right)(p_1v_1-p_2v_2)=\frac{V_2{}^2-V_1{}^2}{2g}$$

(அ-து) $$\left(\frac{k}{k-1}\right)R(T_1-T_2)=\frac{V_2{}^2-V_1{}^2}{2g}$$

இதை வகையிட்டால்,

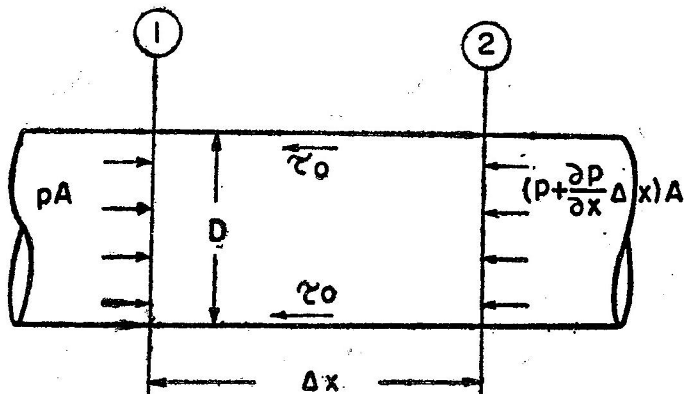
$$VdV+\left(\frac{k}{k-1}\right)\left(\frac{dp}{\rho}-\frac{pd\rho}{\rho^2}\right)=0 \qquad (10{\cdot}20)$$

10·12. உந்தச் சமன்பாடு (Momentum Equation)

மெய்ப் பாய்ம ஓட்டங்களை எடுத்துக்கொண்டால். அவற்றிற்கான ஆற்றல் சமன்பாட்டில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவால் ஏற்படும் உராய்வால் உண்டாகும் ஆற்றலிழப்புக்கான உறுப்பு இருக்கவேண்டும். ஆனல் சமன்பாடு 10·16-ல் அப்படிப்பட்ட உறுப்பு இல்லை. சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவிற்கு எதிராகப் பயன்படுத்தப்பட்ட ஆற்றல் முடிவில் வெப்பமாக மாறிவிடுகிறது. இந்த வெப்ப ஆற்றலைத் தனியாக பிரிப்பது கடினம். வெப்பத்தின் ஒரு பகுதி அமைப்பின் சுவர்களின் வழியாக புறவெளிக்குப் பரவி விடலாம்; அப்போது அது Q-வில் ஒரு பகுதியாக இருக்கும். இவ்வாறான வெப்பப் பரிமாற்றம் இல்லாவிட்டால் உராய்வால் ஏற்படும் வெப்பமானது அந்த அமைப்பின் அக ஆற்றலை அதிகப்படுத்துகிறது; இந்த அதிகரிப்பு சமன்பாட்டிலுள்ள உறுப்புகளின் மதிப்பை மாற்றுமே யொழிய, இந்த வெப்பத்தின் மதிப்பைத் தனியாகக் கணக்கிட முடியாது. ஆனல் உந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து உராய்வையும் உராய்வால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பையும் கணக்கிட முடியாது.

படம் 10·3-ல், D விட்டமுள்ள குழாயில் பாயும் ஒரு பரிமாண, நிலையான, பாகுநிலையுள்ள பாய்ச்சலை எடுத்துக்கொள்வோம்.

அதன் சுவற்றில் ஏற்படும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு τ_0-ஆக இருக்கட்டும். ஆட்சிபருமனில் செயற்படும் விசைகள் படம் 10·3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. வெட்டுமுகம் 1-ன் வழியாகப் பாயும்



படம் 10·3. குழாயில் அழுக்கப் பாய்மப் பாய்ச்சல்

உந்தவீதம் $\rho V^2 A$ ஆகும். வெட்டுமுகம் 2-ன் வழியாகப் பாயும் உந்தவீதம் $\left[\rho V^2 + \frac{\partial(\rho V^2)}{\partial x}\Delta x\right]A$ ஆகும்.

உந்த வேறுபாட்டை நிகரப் புறவிசைக்குச் சமன்படுத்தினல்,

$$-\frac{\partial}{\partial x}(\rho V^2)\Delta x A = -\frac{\partial p}{\partial x} + \Delta x A - \tau_0 \pi D \Delta x$$

பொருண்மை பாயுவீதம் சீராக இருப்பதால் $\frac{\partial(\rho V)}{\partial x}=0$

ρA-ஆல் வகுத்தால்,

$$VdA + \frac{dp}{\rho} + \frac{4\tau_0 dx}{D\rho} = 0 \qquad (10{\cdot}21)$$

கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டை மேலேயுள்ள சமன்பாட்டில் இட்டால்,

$$\frac{\tau_0}{\rho} = f\frac{V^2}{8}$$

கீழ்க்கண்ட சமன்பாடு கிடைக்கிறது.

$$VdV + \frac{dp}{\rho} + \frac{f}{D}\frac{V^2}{2}dx = 0 \qquad (10{\cdot}22)$$

சமன்பாடு 10·22-லுள்ள மூன்றுவது உறுப்பு, அமுக்கப் பாய்ச்சலில் ஒரு அலகு பொருண்மையில் ஏற்படும் உராய்வு இழப்பை உயரமாகத் தருகிறது.

இந்தப் பாய்மம் அமுக்கமற்றதாக இருக்குமாளுல் சமன்பாடு 10·22-ஐத் தொகையிட்டால்,

$$\frac{p_1 - p_2}{w} + \frac{V_1{}^2 - V_2{}^2}{2g} = h_f$$

என்ற பழக்கமான சமன்பாடு கிடைக்கும்.

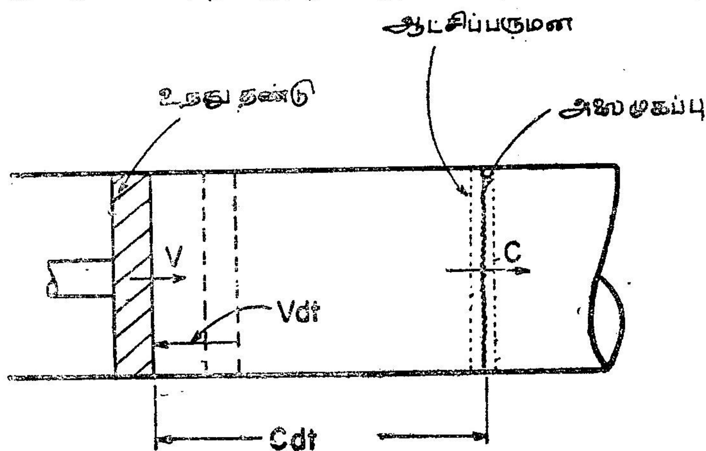
10·13. மீட்சி அலைகள் (Elastic Waves)

ஒரு திடப்பொருளில் ஏற்படும் எந்த உலைவும் (disturbance) உடனே அந்தப் பொருளின் எல்லாப் பாகங்களுக்கும் பரவும். திடப்பொருளை ஒப்பிடும்போது பாய்மத்தில் மூலக்கூறுகள் ஒன்றுக்கொன்று தூரத்திலிருப்பதால் ஒவ்வொரு மூலக்கூறும் சிறிது தூரம் நகர்ந்து உலைவைக் கடத்த வேண்டியதிருக்கிறது. உலைவு பாய்மத்தில் பரவும் வேகமானது அப்பாய்மத்தில் அழுத்தத்திற்கும் அடர்த்திக்குமுள்ள தொடர்பைப் பொருத்தது. திடப்பொருளின் உலைவின் திசைவேகம் வரம்பிலி எனக் கொள்ளலாம்.

ஒரு ஊடகத்தில் (medium) ஒலி அலைகள் (sound waves) எவ்வாறு பரவுகிறதோ அதே போலத்தான் எந்தச் சிறிய உலைவும் அந்த ஊடகத்தில் பரவுகிறது. உலைவால் ஊடகத்தில் அழுத்த வேறுபாடு உண்டாகிறது. இந்த அழுத்த வேறுபாடு ஊடகத்தில் ஒலி வேகத்தில் பரவுகிறது. இவ்வாறு அந்த ஊடகத்தில் உலைவு பரவும் வேகத்தை ஒலித் திசைவேகம் (velocity of sound) என்கிறோம். சிறிய உலைவுகளும் இவ்வொலித் திசைவேகத்திலேயே ஊடகத்தில் பரவுகின்றன. உலைவால் ஏற்படும் அலை ஒரு ஊடகத்தில் நகருவதைத் தெளிவாக விளக்க ஒலித் திசைவேகம் என்பதற்குப் பதில் அலைத் திசைவேகம் (celerity) என்ற சொற்றொடரும் பயனிலுள்ளது. ஒலித் திசைவேகம் அமுக்கப் பாய்ச்சலில் மிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்தது.

அழுத்தச் சலனமானது (pressure disturbance) ஊடகத்தில் எல்லாத் திசைகளிலும் ஒருங்கே பரவும்; இருந்தாலும் வசதிக்காக ஒரு பரிமாண நிலைமையை எடுத்துக் கொள்வோம். சக்தி வாய்ந்த குண்டு வெடித்தல் முதலியவற்ருல் ஏற்படும் பெரிய உலைவுகளால் அதிகமான அழுத்த வேறுபாடுகள் ஏற்படுகின்றன. அவற்றை தவிர்த்து, மிகக் குறைவான அழுத்த வேறுபாடுகளை உண்டாக்கும்

சிறிய உலைவுகளையே நாம் எடுத்துக்கொள்வோம். பெரிய அழுத்த வேறுபாடுகளைப் பற்றி அடுத்தப் பகுதியில் படிப்போம்.



படம் 10·4. உலைவு பரவுதலை விளக்கும் அமைப்பு

படம் 10·4-ல் உள்ளபடி நீளமான A குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள, அமுக்கப் பாய்மம் நிரம்பிய குழாயை எடுத்துக் கொள்வோம். அதிலுள்ள உந்து தண்டு (shaft) dt என்ற நேரத்தில் V திசைவேகத்தில் நகரட்டும். இதனால் ஏற்படும் சிறிய உலைவானது அந்தக் குழாயிலுள்ள பாய்மத்தின் வழியாக ஒலித் திசைவேகத்தில் பரவும். உராய்வும், வெப்பப் பரிமாற்றமும் இல்லை என எடுத்துக்கொண்டு ஒலித் திசைவேகமான C-யின் மதிப்பைக் காணவேண்டும். உந்து தண்டு dt நேரத்தில் Vdt என்ற தூரம் நகர்ந்து dp அளவு அழுத்தத்தை உருளையில் (cylinder) அதிகரித்துள்ளது. இதனால் உந்து தண்டிற்கும் அலை முகப்பிற்கும் (wave front) இடையிலுள்ள பாய்மத்தின் அடர்த்தி dp அளவு அதிகரிக்கிறது. படத்திலுள்ள ஆட்சிபருமனில் உந்தச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினால்,

$$(p+dp)\,dA-p\,dA=A\rho C\,(C-\overline{C-dV})$$

ஆகவே,

$$dp=\rho C\,dV$$

தொடர்ச் சமன்பாட்டை பயன்படுத்தினால்,

$$\rho CA=(\rho+d\rho)(C-dV)\,A$$

உயர்வரிசை(higher order)யுள்ள உறுப்புகளை நீக்கிவிட்டு,

$$C\,d\rho=\rho\,dV$$

கிடைக்கும்.

உந்தச் சமன்பாட்டையும், தொடர்ச் சமன்பாட்டையும் சேர்த்து,

$$C^2=\frac{dp}{d\rho}$$

எனவே, ஒலித் திசைவேகமானது

$$C=\sqrt{\frac{dp}{d\rho}}=\sqrt{\frac{E}{\rho}} \qquad (10{\cdot}23)$$

இதை வாயுக்களுக்கும் திரவங்களும் பயன்படுத்தலாம். தடையற்ற வெப் மாற்றீடற்ற நிகழ்ச்சிகளில் $E=kp$ ஆகும். எனவே, நிறைவுடைய பாய்மங்களுக்கு $p=\rho RT$ ஆதலால்,

$$C=\sqrt{kRT} \qquad (10{\cdot}24)$$

இந்த அலையானது வெகு விரைவில் பரவுவதால் வெப்ப நிலை மாறுபாடு, வெப்பப் பரிமாற்றம் முதலியவற்றை புறக்கணித்து விடலாம்.

வளிமண்டலத்தில் பரவும் சிறிய உலைவுகளுக்கு வெப்பநிலை மாறு முறையைப் பயன்படுத்த முடியாது. உலைவு மிக அதிக வேகத்தில் பரவுவதால் அவ்வேகத்தில் வெப்ப மாற்றம் நிகழச் சாத்தியமல்ல; மேலும் வெப்பநிலை மாறாமல் வளிமண்டலத்திலிருக்க முடியாது. வெப்ப மாற்றீடற்ற முறைப்படி வளிமண்டலத்தில் கடல் மட்டத்தில் 15°C வெப்பநிலையில் ஒலி வேகம் 330 மீ/வி ஆகும்.

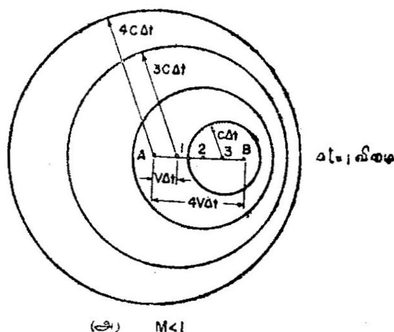
10·14. மாக் எண்ணும் மாக் கூம்பும் (Mack Number and Mack Cone)

மாக் எண்ணனது சடத்துவ விசைக்கும், மீட்சி விசைக்குமுள்ள விகிதத்தின் வர்க்கமூலம் என முன்னரே விளக்கியுள்ளோம். எனவே,

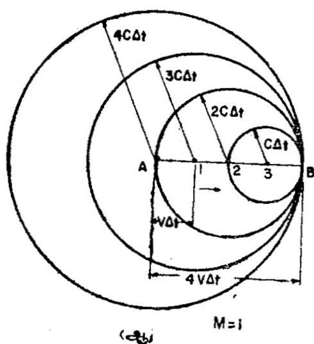
$$\frac{\rho l V^2}{E l^2}=\frac{V^2}{\frac{E}{\rho}}=\frac{V^2}{C^2}=M^2$$

இந்தப் பரிமாணமற்ற எண் அமுக்கப் பாய்ச்சல் பற்றிய பகுப்பாய்வுகளில் முக்கிய பங்கு வகிக்கிறது. இந்த எண் மாதிரியிலும் அசலிலும் சமமாக இருந்தால் அவற்றில் ஏற்படும் பாய்ச்சலில் இயக்கவிசை ஒருமைப்பாடு (dynamic similarity) இருக்கும் எனக் கொள்ளலாம்.

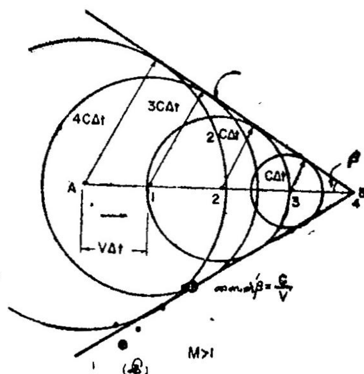
மாக் எண் பாய்மத் திசைவேகத்தைப் பாகுபடுத்தப் பயன் படுகிறது. பாய்மத் திசைவேகமானது அப்பாய்மத்தில் ஏற்படும் ஒலி வேகத்தைவிடக் குறைவாக இருக்குமானால் அந்த ஓட்டத் திற்குக் கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகம் (subsonic velocity) எனப் பெயர். இப்போது $M<1$. இப்படிப்பட்ட ஓட்டத்தில் நிகழும் எந்த உலைவும் பாய்ச்சல் புலத்தில் எல்லாத் திசைகளிலும் பரவும். பாய்மத் திசைவேகம், ஒலித் திசைவேகத்தைவிட அதிகமாக இருக்கு மானால் அதற்கு மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகம்(supersonic velocity) எனப் பெயர். இப்படிப்பட்ட ஓட்டத்தில் எந்த உலைவும் பாய்மம் ஓடும் திசையை எதிர்த்து, உலைவு உண்டான இடத்திலிருந்து மேல் நோக்கிச் செல்லமுடியாது. இப்போது $M>1$. M-ன் மதிப்பு ஒன்றாக இருக்கும்போது பாய்மத் திசைவேகம், அப்பாய்மத்தின் ஒலித் திசைவேகத்திற்குச் சமமாக இருக்கும். இப்படிப்பட்ட ஓட்டங்களில் உலைவானது அது உற்பத்தியான இடத்திலிருந்து மேல் நோக்கிச் செல்லா.



(அ) M<1



(ஆ) M=1



(இ) M>1

பட்டம் 10·5. உலைவு பரவுதல்

இனி அமுக்கப்பாய்ம ஓட்டத்தில் உலைவு பரவும் தன்மையைப் பற்றி பார்ப்போம். ஒரு அசைவில்லா பாய்மபுலத்தில் சிறிய திடக்குண்டு நேர்கோட்டில் செல்வதாக எடுத்துக் கொள்வோம். இக்குண்டின் நிலையான திசைவேகமான V, அப்பாய்மத்தின் ஒலித் திசைவேகம் C-யைவிடக் குறைவாக இருக்கட்டும். குண்டினால் ஏற்படும் சலனம் அப்புலத்தில் C என்ற திசைவேகத்தில் பரவும். குண்டின் இடம் t=0 என்ற நேரத்தில் A என்ற புள்ளியில் இருக்கிறது. படம் 10·5-ல் அந்தக் குண்டு 1 வினாடி இடைநேரங்களில் எந்த எந்த இடங்களில் அதன் பாதையில் இருக்கும் என்பது காட்டப்பட்டுள்ளது. 4-வது வினாடியின் இறுதியில் அக்குண்டு B என்ற இடத்தை (AB=4V) அடைகிறது. V<C-ஆக இருப்பதால் குண்டால் உண்டாகும் சலனமானது குண்டிற்கு முன்னாலும் வேகமாகச் செல்லமுடிகிறது. எனவே, B என்ற புள்ளி அந்தச் சலனம் பரவியுள்ள 4V ஆர மதிப்புள்ள வட்டத்திற்குள் இருக்கிறது. அந்தக் குண்டின் திசைவேகம் ஒலித் திசைவேகத்திற்குச் சமமாக இருக்குமானால் சலனமானது குண்டோடு முன்னால் பரவுகிறது. எனவே B_1 படம் 10·5(ஆ)-ல் உள்ளபடி சலனக் கோளம் B-யோடு எப்போதும் இணைந்திருக்கிறது. படம் 10·5 (இ)-ல் குண்டானது ஒலித் திசைவேகத்தைவிட அதிவேகத்தில் சென்றால் ஏற்படும் தொடர்புகள் விளக்கப்பட்டுள்ளன. இவ்வாறு உண்டாகும் கோள வடிவான அழுத்த அலைகள் B-யை முனையாக உள்ள ஒரு கூம்பு வடிவ அமைப்பை உடைத்தாயிருக்கின்றன. இந்தக் கூம்பின் உச்சி அரைக்கோணம்

$$d=\sin^{-1}\frac{C}{V}=\sin^{-1}\frac{1}{M} \qquad (10\cdot25)$$

இந்தக் கூம்பினுள் இருக்கும் மண்டலமானது இக்குண்டின் திசைவேகத்தினால் உண்டாகும் சலனத்தால் பாதிக்கப்படும். எனவே, இந்தப் பகுதிக்கு சப்த மண்டலம் (zone of noise) எனப் பெயர். இந்தக் கூம்பிற்கு வெளிப்புறம் குண்டில் ஏற்படும் சலனம் பரவுவதில்லை. எனவே, இப்பகுதியை நிசப்த மண்டலம் (zone of silence) என்கிறோம். ஒலியைவிட அதிக வேகத்தில் ஒரு விமானம் நமக்கு உயரே பறந்து செல்லும்போது அதனால் ஏற்படும் ஒலியை அவ்விமானம் நம்மை கடந்து சென்ற பின்னரே கேட்போம். நமக்கு அருகில் நமக்கு நேர் உயரே இருக்கும்போது அதன் சப்தம் நமக்கு கேட்காது.

மாதிரிக் கணக்கு 10·5. மாக் கோணத்தின் மதிப்பு 42·5°. காற்றின் வெப்பநிலை 5°C-யாக இருக்கும்போது காற்றில் பாயும் குண்டின் திசைவேகம், மாக் எண் இவற்றைக் கணக்கிடு.

$T=273+5=278°$கெ $\qquad k=1\cdot4$

$R=287$ ஜூல்/கிகி °கெ

ஒலித் திசைவேகம் $C=\sqrt{kRT}=\sqrt{1\cdot4\times287\times278}$
$=334$ மீ/வி

$$\sin 42\cdot5^\circ=0\cdot676=\frac{C}{V}$$

குண்டின் திசைவேகம் $V=\dfrac{334}{0\cdot166}=495$ மீ/வி

மாக் எண் $=\dfrac{495}{334}=1\cdot48.$

மாதிரிக் கணக்கு 10·6. ஒரு இழைக் கோட்டிலுள்ள் புள்ளியில் காற்றின் திசைவேகம், அழுத்தம், வெப்பநிலை முதலியன முறையே 30 மீ/வி, 400 கிறி/மீ² (தனி), 200°C ஆகும். அதே இழைக் கோட்டில் மற்ருெரு புள்ளியில் திசைவேகம் 160 மீ/வி ஆக இருக்குமாஞல் அந்தப் புள்ளியில் அழுத்தம், வெப்பநிலை ஆகியவற்றை கணக்கிடு.

$V_1=30$ மீ/வி	$V_2=160$ மீ/வி
$p_1=400$ கிறி/மீ² (தனி)	$p_2=?$
$T_1=(200+273)=473$°கெ	$T_2=?$

தடையற்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற நிலையை எடுத்துக்கொள்ளவும். இப்போது

$$\frac{V_2{}^2-V_1{}^2}{2}=\frac{k}{k-1}R(T_1-T_2)$$

எனவே,

$$\frac{160^2-30^2}{2}=\frac{1\cdot4}{1\cdot4-1}287\ (T_1-T_2)$$

$$\therefore T_1-T_2=12\cdot3$$

$$T_1=473;\quad T_2=460\cdot7^\circ\text{கெ}$$

$$t_2=187\cdot7^\circ\text{C}$$

இப்போது

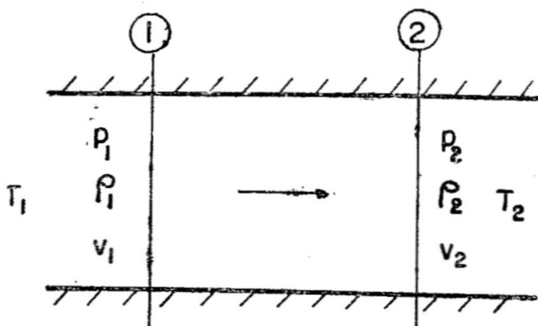
$$\frac{p_2}{p_1}=\left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$\therefore\quad p_2=\left(\frac{460\cdot7}{473}\right)^{\frac{1\cdot4}{1\cdot4-1}}$$

$=363$ கிறி/மீ².

10·15. அதிர்ச்சி அலைகள் (Shock Waves)

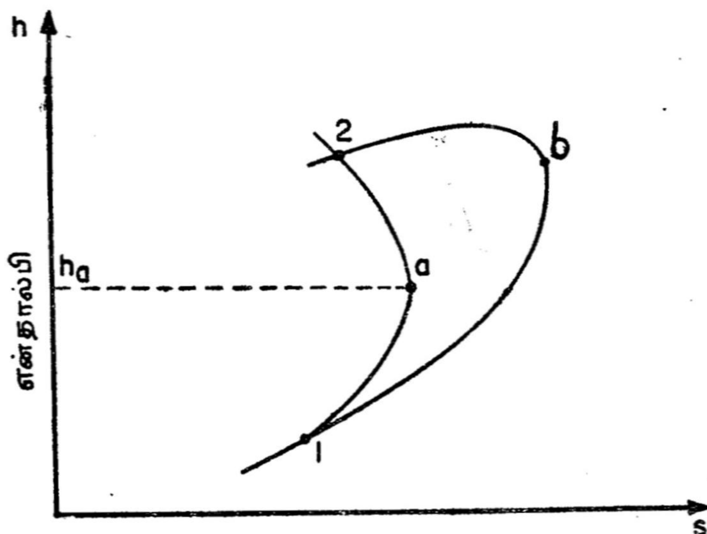
முந்திய பகுதியில் வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் ஏற்படும் மிகச் சிறிய அழுத்த வேறுபாடுகள் பரவும் வேகத்தைக் கணக்கிட்டோம். இப்போது குறிப்பிடத்தக்க அழுத்த வேறுபாட்டால் மிகச் சிறிய தூரத்திற்குள் ஏற்படும் மாறுதல்களைப் பற்றி படிப்போம். இப்படி பாய்மம் பாயும் பாதையில் திடீரென ஏற்படும் அழுத்தம், மற்ற வேறுபாடுகளுக்கு அதிர்ச்சி அலை எனப்பெயர். இந்த அதிர்ச்சி அலையின் கனம் (thickness) மூலக்கூறின் சராசரி கட்டற்ற பாதையை(mean free path of molecule)விட சில மடங்குகளே அதிகமாகும். இதன் கனம் காற்றில் $2{\cdot}5\times10^{-4}$ மிமீ ஆகும். இந்த அதிர்ச்சி அலைகள் ஊடகத்தினுடைய திசைவேகத்தைவிட அதிக வேகத்தில் செல்லும். அதிர்ச்சி அலைக்கு இரு புறமும் உள்ள பாய்மத்தின் சிறப்பியல்புகளை ஒரு நிறைவுடை பாய்மத்திற்கு என்தால்பி-என்ட்ரபி வரைபடம் மூலம் விளக்குவோம்.



படம் 10·6. பாய்மக் கடத்தியின் வழியாகப் பாய்ச்சல்

படம் 10·6-ல் உள்ளபடி A என்ற மாறாத குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள பாய்மக் கடத்தியில் நிலையான, வெப்ப மாற்றீடற்ற, எல்லைப் படலத்தால் (boundary layer) உராய்வு ஏற்படுகிற, வெப்பப் பரிமாற்றமற்ற பாய்ச்சல் நிகழுவதாக எடுத்துக் கொள்வோம். வெட்டுமுகம் 1-ல் p_1 V_1, ρ_1 T_1 என்ற சிறப்பியல்புகள் மாறாது இருக்கும்போது வெட்டுமுகம் 2-ல் பல்வேறு உராய்வுகளுக்கேற்ப எவ்வாறு மேலேயுள்ள சிறப்பியல்புகள் மாறுகின்றன எனப் பார்ப்போம். இப்படிப்பட்ட நிலையில் மாறாத பொருண்மையுள்ள பாய்ம ஓட்டத்தில் என்தால்பி, என்ட்ரபி மாறுபாடுகள் படம் 10·7-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. இந்த வளைகோட்டிற்கு ஃபானோ கோடு (Fanno line) எனப் பெயர். என்ட்ரபி உச்ச

மதிப்புள்ள இடம் 'a'-ல் குறிக்கப்பட்டுள்ளது. இவ்விடத்தில் மாக் எண்ணின் மதிப்பு ஒன்றாகும். அதாவது அவ்விடத்தில் பாய்மத்தில் ஒலித் திசைவேகம் நிகழ்கிறது. இந்த வளைகோட்டில் h_a-க்கு அதிக மதிப்புள்ள நிலைகள் கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்தையும் h_a-க்கு குறைவாக மதிப்புள்ள நிலைகள் மேம்பட்ட ஒலித் திசை வேகத்தையும் குறிக்கும்.

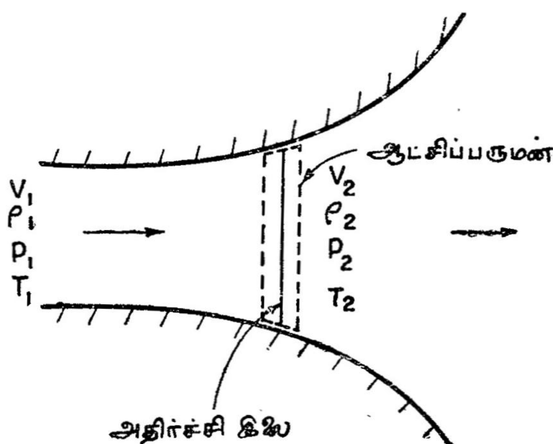


படம் 10·7. ஃபான்றோ-ராலே கோடுகள்

இப்போது அந்தக் கடத்தியின் சுவர்களின் வழியாக வெப்பப் பரிமாற்றம் நிகழ்வதாக எடுத்துக் கொண்டு, என்தால்பி-என்ட்ரபிக்கான தொடர்பை அதே படத்தில் வரைந்தால் ராலே கோடு (Rayleigh line) என்ற வளைகோடு கிட்டும். என்ட்ரபி உச்சமாக உள்ள b என்ற நிலையில் ஒலித் திசைவேகத்தில் பாய்மம் பாயும்,

பாய்மம் பாயும் திசைக்கு குறுக்கே நேர்குத்தாக ஏற்படும் அதிர்ச்சியை எடுத்துக்கொள்வோம். இதற்கு நேர்குத்து அதிர்ச்சி (normal shock)எனப் பெயர். இவ்வகையால் அதிர்ச்சி குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு மாறாத பாய்மக் கடத்திகளிலும் குவிந்து விரியும் முனைகளிலும் (convergent-divergent nozzles) தட்டை உருவங்களின் (blunt bodies) முன்னும் ஏற்படுகிறது. ஒரு பரிமாணப் பாய்ச்சலில் அதிர்ச்சி அலையைச் சுற்றி படத்தில் காட்டியுள்ளபடி (படம் 10·8) ஆட்சிபருமனை எடுத்துக்கொள்வோம். இந்த

ஆட்சிபருமனின் நீளம் மிகச் சிறியதாக இருப்பதால் அதன் இரு புறங்களிலுமுள்ள வெட்டுமுகங்களின் பரப்பில் வேறுபாடு இல்லை எனக் கொள்ளலாம். மேலும், இந்த ஆட்சிபருமனில் ஏற்படும் உராய்வின் விளைவுகள், வெப்பப் பரிமாற்றம் இவற்றின் அளவுகள்



படம் 10·8. நேர்குத்து அதிர்ச்சி அலை

மிகக் குறைவாக இருக்குமாதலால் அவற்றை புறக்கணித்து விடலாம். அதிர்ச்சி அலைக்கு முன்னுள்ள பாய்மத்தின் சிறப் பியல்புகள் தெரியுமாதலால் அதற்கு பின்னுள்ள பாய்மச் சிறப் பியல்புகளை நாம் கணக்கிட வேண்டியதிருக்கிறது. இவற்றை என்தால்பி-என்ட்ரபி வரைபடம் வரைந்து அதிலிருந்து அடைய லாம். ஃபானோ, ராலே என்ற கோடுகள் 2 என்ற புள்ளியில் வெட்டிக் (intersect)கொள்கின்றன. இந்தப் புள்ளி அதிர்ச்சிக்குப் பின்னுள்ள நிலையைக் குறிக்கும். ஆட்சிபருமனில் உராய்வு இல்லை என எடுத்துக் கொண்டால் எந்த மாறுபாடும் ராலே கோட்டில்தான் நிகழவேண்டும். அதேபோல் ஆட்சிபருமனில் வெப்பப் பரிமாற்றம் ஏற்படுவதில்லை என எடுத்துக் கொண்டால் எந்த மாறுபாடும் ஃபானோ கோட்டில்தான் நிகழவேண்டும். எனவே, இந்த இரண்டு கோடுகளின் வெட்டுப்புள்ளியான 2, அதிர்ச்சி அலைக்கு பின்னுள்ள நிலையைக் குறிக்கும். சோதனைகளி லிருந்து புள்ளி 2-ஆனது அதிர்ச்சி அலைக்கு முன்னுள்ள நிலையைக் குறிக்கும் புள்ளி 1-க்கு வலது பக்கமாக இருக்குமெனத் தெரிகிறது. மேலும் வெப்ப இயக்கவிசையியலின் இரண்டாவது விதிப்படி இந்தத் தொடர் நிகழ்ச்சியானது 1-லிருந்துதான் 2-க்குப் போக வேண்டும் எனவும் நிருபிக்கலாம். எனவே, நேர்குத்து அதிர்ச்சி யானது மேம்பட்ட ஒலித் திசை வேகத்திலிருந்து கீழ்ப்பட்ட ஒலித்

திசைவேகத்தில்தான் நிகழும் என்பது தெளிவு. இப்படிப்பட்ட அதிர்ச்சிக்கு அமுக்க அதிர்ச்சி(compression shock) என்றும் பெயர்.

10·16. நேர்குத்து அதிர்ச்சியிலுள்ள தொடர்புகள்

A குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள பாய்மக் கடத்தியில் ஒரு பரிமாண, நிலையான பாய்ச்சல் நிகழும்போது ஏற்படும் நேர்குத்து அதிர்ச்சியின் இரு புறங்களிலுமுள்ள திசைவேகம், அழுத்தம், அடர்த்தி, வெப்பநிலை இவற்றின் தொடர்புகளை வருவிப்போம்.

தொடர்ச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2$$

எல்லையிலேற்படும் உராய்வு விசையைப் புறக்கணித்துவிட்டு உந்தச் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினால்

$$(p_1 - p_2)\, A = (\text{பொருண்மைபாயும் வீதம்}) \times (V_2 - V_1)\,,$$

$$(p_1 - p_2)\, A = \rho_2 V_2^{\,2} - \rho_1 V_1^{\,2}$$

$p = \rho RT,\ C^2 = \dfrac{kp}{\rho}$ என்ற தொடர்புகளைப் பயன்படுத்தினால்,

$$(p_1 - p_2) = p_2 k\mathbf{M}_2^{\,2} - p_1 k\mathbf{M}_1^{\,2}$$

எனவே,

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{1 + k\mathbf{M}_1^{\,2}}{1 + k\mathbf{M}_2^{\,2}} \qquad (10{\cdot}26)$$

ஆட்சி பருமனிலிருந்தும், உள்ளேயும் வெப்பப் பரிமாற்றம் இல்லாவிட்டால் வெப்ப மாற்றீடற்ற ஆற்றல் சமன்பாடு நிறைவுடை வாயுக்களுக்கு,

$$C_p T_1 + \tfrac{1}{2} V_1^{\,2} = C_p T_2 + \tfrac{1}{2} V_2^{\,2}$$

C_p-யை மாறிலி என எடுத்துக்கொண்டு

$$V = CM = \mathbf{M}\sqrt{kRT}$$

$$C_p T_1 + \tfrac{1}{2}\mathbf{M}_1^{\,2} kRT_1 = C_p T_2 + \tfrac{1}{2}\mathbf{M}_2^{\,2} kRT_2$$

சமன்பாடு 10·6-ஐப் பயன்படுத்தி,

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{1 + \tfrac{1}{2}(k-1)\,\mathbf{M}_1^{\,2}}{1 + \tfrac{1}{2}(k-1)\,\mathbf{M}_2^{\,2}} \qquad (10{\cdot}27)$$

இப்போது ρ-வை p/RT யாலும் V-யை CM-ஆலும் தொடர்ச் சமன்பாட்டில் இட்டால்,

$$\frac{p_1}{RT_1} C_1 M_1 = \frac{p_2}{RT_2} C_2 M_2$$

$C = \sqrt{kRT}$ ஆதலால்

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2 M_2}{p_1 M_1}\right)^2 \qquad (10{\cdot}28)$$

இப்போது சமன்பாடு 10·28-ல் சமன்பாடுகள் 10·26, 10·27 இரண்டையும் இட்டால்,

$$\frac{1+\frac{1}{2}(k-1)M_1^2}{1+\frac{1}{2}(k-1)M_2^2} = \left(\frac{1+kM_1^2}{1+kM_2^2}\right)\frac{M_2^2}{M_1^2}$$

$M_1 = M_2$ என்ற மிகச் சாதாரணமான தீர்வை புறக்கணித்து விட்டால்,

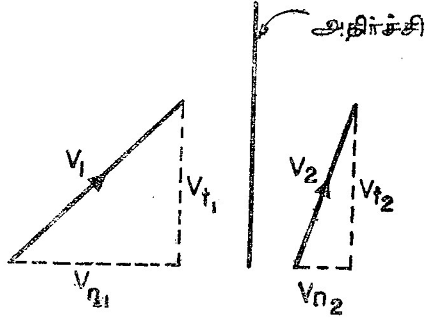
$$M_2^2 = \frac{2+(k-1)M_1^2}{2kM_1^2-(k-1)} \qquad (10{\cdot}29)$$

என்ற சமன்பாட்டை அடையலாம். மேலேயுள்ள சமன்பாடுகள் 10·26 முதல் 10·29 வரை உள்ளவை தொடக்கத்தில் மேம்பட்ட அலைத் திசைவேகத்திலுள்ள பாய்ச்சல்களுக்கும் பொருந்தும். இந்தச் சமன்பாடுகளிலிருந்து அதிர்ச்சி அலைக்குப் பின்னுள்ள திசைவேகம், அடர்த்தி, வெப்பநிலை முதலியவற்றை அடையலாம். அதிர்ச்சி அலைக்குப் பிறகு என்ட்ரபி, அழுத்தம், அடர்த்தி முதலியன அதிகரிக்கின்றன எனத் தெரிகிறது.

10·17. சரிவான அதிர்ச்சி (Oblique Shock)

படம் 10·9-ல் உள்ளபடி அதிர்ச்சியானது பாய்மம் பாயும் திசைக்கு நேர்குத்தாக இல்லாமல் சரிவாக இருக்குமானல் அப்படிப்பட்ட அதிர்ச்சிக்கு சரிவான அதிர்ச்சி எனப்பெயர். குவியும் எல்லைகளையுடைய பாய்மப் பாதைகளில் மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்தில் திசைமாறுபட்டால் இவ்வாறான அதிர்ச்சி ஏற்படுகிறது. இந்த அதிர்ச்சிக்கு முன்னும் பின்னுமுள்ள திசைவேகங்கள் முறையே V_1, V_2-ஆக இருக்கட்டும். அதிர்ச்சியால் ஏற்படும் அழுத்த, அடர்த்தி வேறுபாடுகளால் அதிர்ச்சியின் இரு பக்கங்களிலுமுள்ள நேர்குத்தான திசைவேகக் கூறுகளில் மாறுபாடு நிகழ்கிறது; ஆனல் தொடுகோட்டுத் திசைவேகக் கூறுகளில் (tangential velocity components) மாற்றம் நிகழ்வதில்லை. எனவே,

V_2 என்ற அதிர்ச்சிக்குப் பின் ஏற்படும் திசைவேகம், அதிர்ச்சி அலைக்குச் சாய்வாக இருக்கிறது. முன்பகுதியில் நாம் வருவித்த சமன்பாடுகள் சரிவான அதிர்ச்சியிலுள்ள நேர்குத்துத் திசைவேகக் கூறுகளுக்குப் பொருந்தும். எனவே, நேர்குத்துத் திசைவேகக் கூறுன V_{n_2} கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகமுடையதாக இருக்கும். V_{n_2} கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகமுடையதாக இருந்தாலும், V_2 மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகமுள்ளதாக இருக்கலாம். ஆகவே, சரிவான அதிர்ச்சிக்குப் பிறகு, நேர்குத்து அதிர்ச்சியில் போல் அல்லாமல் மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகம் சாத்தியமாகும்.



படம் 10·9. சரிவான அதிர்ச்சி

10·18. பரப்பிற்கும் திசைவேகத்திற்குமுள்ள தொடர்பு

நிலையான அமுக்கமற்ற பாய்ம ஓட்டங்களில் திசைவேகம் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு இவற்றின் பெருக்குத் தொகை ஒரு குறிப்பிட்ட பாயுவீதத்திற்கு மாறுமல் இருக்கும். குவியும் பாதையில் திசைவேகம் அதிகரிக்கும். இவ்வகைப் பாதைக்கு முனை (nozzle) எனப் பெயர். விரியும் பாதையில் திசைவேகம் குறையும். இதற்கு விரவி (diffuser) எனப் பெயர். ஆனுல் அமுக்கப் பாய்மப் பாய்ச்சலில் திசைவேகத்திற்கும், பரப்பிற்கும் மேலே விளக்கப்பட்ட தொடர்புகள் பொருந்தா. இங்கே ஒரு பரிமாண, நிலையான, வெப்ப மாற்றீடற்ற உராய்வற்ற அமுக்கப் பாய்மப் பாய்ச்சல்களில் திசைவேகத்திற்கும் பரப்பிற்குமுள்ள தொடர்புகளை ஆராய்வோம். தடையற்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற பாய்ச்சல் இலட்சியமானதாளுலும் பெரும்பாலான நிலைகளில் உதாரணமாக முனைகள், குறுக்கங்கள், வெஞ்சுரிமானிகள் முதலிய வற்றில் நிகழும் பாய்ச்சல்களை இலட்சிய பாய்ச்சல்களாகக் கருதலாம்.

சமன்பாடு 10·15-லிருந்து தொடர்விதியானது,

$$\frac{dA}{A} = -\frac{dV}{V} - \frac{d\rho}{\rho}$$

Z-உறுப்பைப் புறக்கணித்துவிட்டு சமன்பாடு 4·4-லிருந்து உராய்வற்ற, சீரான ஓட்டங்களுக்கு உந்தச் சமன்பாடானது,

$$VdV + \frac{d\rho}{\rho} = 0$$

இதையே

$$VdV + \frac{d\rho}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{d\rho} = VdV + C^2 \frac{d\rho}{\rho} = 0$$

எனவும் எழுதலாம். தொடர்ச் சமன்பாட்டிலிருந்து $\frac{d\rho}{\rho}$-க்குச் சம மான மதிப்பை இட்டால்,

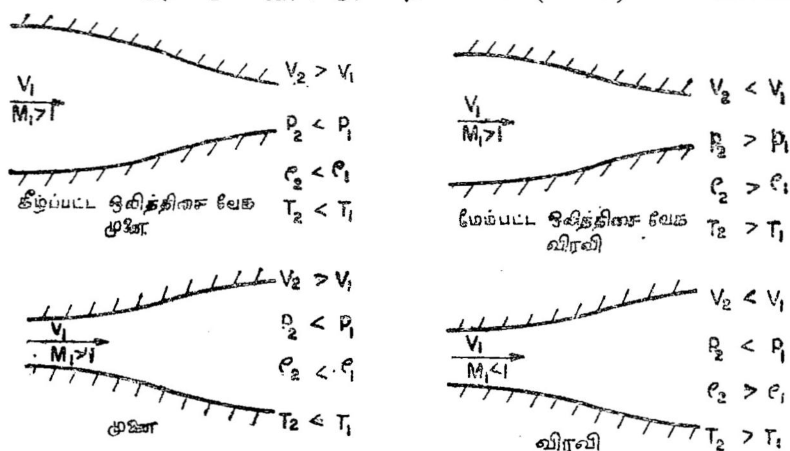
$$VdV - C^2 \left(\frac{dV}{V} + \frac{dA}{A} \right) = 0$$

C^2 என்ற உறுப்பால் வகுத்து, சீர்படுத்தினல்,

$$\frac{dA}{A} = \frac{dV}{V} (\mathbf{M}^2 - 1) \qquad (10{\cdot}30)$$

கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகமுள்ள பாய்ச்சல்களில் **M**-ன் மதிப்பு ஒன்றுக்குக் குறைவாக இருக்குமாதலால் பிறைகுறிகளுக்குள் (parantheses) இருக்கும் உறுப்புகளின் மதிப்பு எதிராக இருக்கும். எனவே, பரப்பு அதிகரிக்கும்போது திசைவேகம் குறைகிறது. அதே போல் திசைவேகம் அதிகரிக்கும்போது பரப்பு குறைகிறது. இவ் வாறே அமுக்கமற்ற பாய்ச்சல்களிலும் நிகழ்கின்றன. மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகங்களில் **M**-ன் மதிப்பு ஒன்றுக்கு மேலிருக்கு மாதலால் அச்சமன்பாட்டிலிருந்து பரப்பு அதிகரித்தாலே திசை வேகம் அதிகரிக்குமெனத் தெரிகிறது. மாக் எண் ஒன்றுக்கு அதிக மாக இருக்கும்போது வாயுவின் அடர்த்தி கொடுக்கப்பட்டுள்ள அழுத்தக் குறைவிற்கு திசைவேகம் அதிகரிக்கும் வேகத்தைவிட அதிகமாகக் குறைவதால் பாதையின் பரப்பும் அதிகரிக்க வேண்டிய நிர்பந்தம் ஏற்படுகிறது. எனவே, அமுக்கப் பாய்ச்சலில் கீழ்ப்பட்ட அல்லது மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்தைப் பொருத்து முனை யானது முறையே குவிந்தோ அல்லது விரிந்தோ இருக்கலாம். **M**-ன் மதிப்பு ஒன்றிற்கு அதிகமாக இருக்கும்போது குவியும் பாதையில் திசைவேகமும் குறைகிறது. எனவே, இதை விரவி (diffuser) என்கிறோம். எவ்வாறு பாய்மத்தின் பல சிறப்பியல்புகள் முனையிலும், விரவியிலும் மேம்பட்ட அல்லது கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகங்களில் மாறுபடுகின்றன என்பது படம் 10·10-ல் விளக்கமாகக் காட்டப்பட்டுள்ளன.

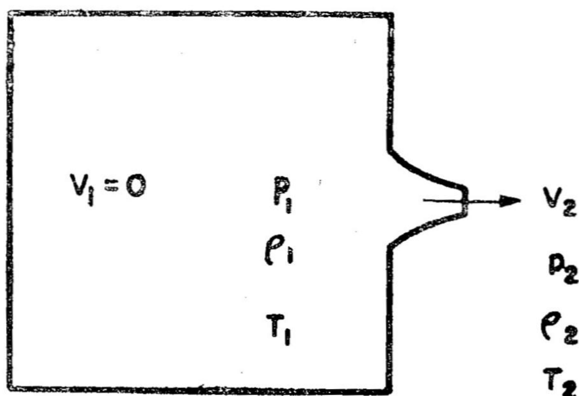
ஒலித் திசைவேகத்தில் $dA=0$ ஆகும். இது சிறும வெட்டுப் பரப்பைக் குறிக்கும். இதற்குத் தொண்டை (throat) எனப் பெயர்.



படம் 10·10. பரப்பளவு வேறுபடுவதின் விளைவுகள்

தொண்டைப் பிறகு பாய்மத்தை முடுக்க வேண்டுமானால் ஒரு விரிந்த பாதையை தொண்டைக்குப் பின் இணைக்கவேண்டும். முனையில் மேம்பட்ட திசைவேகத்தை நிலைக்கச் செய்யத் தேவையான அழுத்த வேறுபாடு இருக்கவேண்டும். இந்த அமைப்பிற்குக் குவிந்து விரியும் முனை (convergent-divergent nozzle) எனப் பெயர்.

10·19. முனைகள், துளைகள் வழியாகப் பாய்ச்சல் (Flow through Nozzles and Orifices)



படம் 10·11. மூடிய பெரிய தொட்டியிலுள்ள முனையின் வழி பாய்ச்சல்

பெரிய, மூடிய தொட்டியில் இணைக்கப்பட்டுள்ள ஒரு குவியும் முனை (converging nozzle) வழியாக ஏற்படும் பாய்ச்சலை எடுத்துக்

கொள்வோம். (படம் 10·11.) தொட்டியிலுள்ள வாயு தேக்க நிலையிலிருக்கிறது. தொட்டியிலுள்ள பாய்மநிலையை பின்னெட்டு 1-ஆலும், முனை அல்லது துளையின் வெளிவாயிலில் பாய்மத்தின் சிறப்பியல்புகளைப் பின்னெட்டு 2-ஆலும் குறிப்போம். வெட்டு முகம் 1, 2 இவற்றிற்கிடையேயுள்ள அழுத்த வேறுபாடு போது மான அளவு இருக்குமானல் பாய்ச்சலைத் தடையற்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற தன்மைத்தாகவும், அல்லாதவரை வெப்பநிலை மாருத் தன்மைத்தாகவும் கொள்ளலாம். உராய்வற்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற பாய்ச்சலில் ஆற்றல் சமன்பாடானது,

$$\frac{V^2}{2}-\frac{V_1{}^2}{2}=\frac{k}{k-1}\left(\frac{p_1}{\rho_1}-\frac{p_2}{\rho_2}\right)$$

$V_1=0$; $\dfrac{p_1}{\rho_1{}^k}=\dfrac{p_2}{\rho_2{}^k}$ ஆதலால், இப்போது

$$\frac{V_2{}^2}{2}=\frac{k}{k-1}\frac{p_1}{\rho_1}\left[1-\frac{p_2}{\rho_1}\frac{\rho_1}{\rho_2}\right]$$

$$=\frac{k}{k-1}\frac{p_1}{\rho_1}\left\{1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right\}$$

$$\therefore\quad V_2=\sqrt{\frac{2k}{k-1}\frac{p_1}{\rho_1}\left\{1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right\}}\qquad(10\cdot31)$$

முனை அல்லது துளை வழியாகப் பாயும் பொருண்மைவீதம்,

$$m=\rho_2 a_2 V_2=\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{k}}\rho_1 a_2\sqrt{\frac{2k}{k-1}\frac{p_1}{\rho_1}\left\{1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right\}}$$

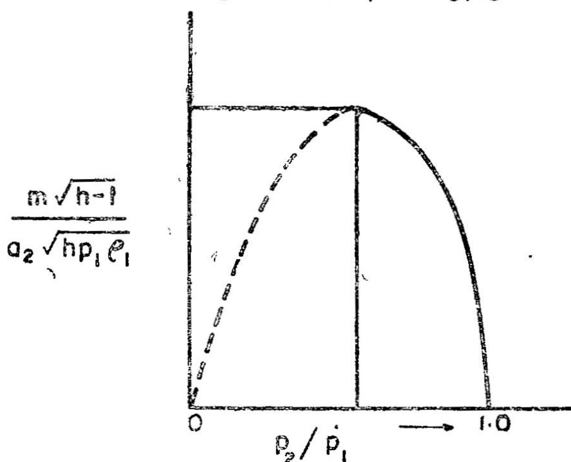
$$=a_2\sqrt{\frac{2k}{k-1}p_1\rho_1\left\{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}}-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right\}}$$

$$=\sqrt{\frac{2k}{k-1}}a_2\psi\sqrt{p_1\rho_1}\qquad(10\cdot32)$$

இதில் $\psi=\left\{\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}}-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right\}^{\frac{1}{2}}$

முனை அல்லது துளை வழியாக வெளிப்படும் வாயுவின் பொருண்மைவீதம் கொடுக்கப்பட்டுள்ள p_1, p_2 மதிப்புகளையும் ψ-யையும் பொருத்தது. படம் 10·12-ல் $\dfrac{p_1}{p_2}$ என்ற அழுத்த

விகிதத்திற்கும் வெளிவரும் பொருண்மைவீதத்திற்கும் வளை கோடு வரையப்பட்டுள்ளது. காற்றை எடுத்துக்கொண்டால்



படம் 10·12. $\frac{p_2}{p_1}$, முனையின் வழி பொருண்மைபாயுவீதம் இவற்றின் தொடர்பு

கொடுக்கப்பட்ட p_1 மதிப்பிற்கு $\frac{p_2}{p_1}$ என்ற விகிதமானது படிப் படியாகக் குறைக்கப்பட்டால் பொருண்மைவீதம் அதிகரித்து, $\frac{p_2}{p_1}=0{\cdot}528$ இருக்கும்போது பொருண்மை வெளிவரும் வீதம் உச்ச மதிப்பை அடைகிறது. இந்த நிலையில் p_2 என்ற அழுத்தமானது மாறுநிலை அழுத்தம் (critical pressure) p_c என்று அழைக்கப்படு கிறது. மேலும் p_2-ன் மதிப்பு குறைக்கப்படுமானல் வளை கோட்டின்படி m-ன் மதிப்பு குறையவேண்டும். ஆனல் நடை முறையில் இது சாத்தியமல்ல. எனவே, m-ன் மதிப்பு குறையாமல் மாறுநிலை மதிப்பிலேயே இருக்கும். மாறுநிலை அழுத்த விகிதமான $\frac{p_c}{p_1}$-ஐ, ψ என்ற கோவையை (expression) $\frac{p_2}{p_1}$-ஆல் வகையிடு வதிலிருந்தும் அடையலாம். இப்போது $\frac{d\psi}{d\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}=0$ என்று எடுத்துக்கொண்டு, மாறுநிலை அழுத்த விகிதமானது,

$$\left(\frac{p_c}{p_1}\right)=\left(\frac{2}{k-1}\right)^{\frac{k}{k-1}}=0{\cdot}528,\ k=1{\cdot}4 \qquad (10{\cdot}33)$$

என காண்பிக்க முடியும்.

மேலும்

$$\left(\frac{\rho_c}{\rho_1}\right)=\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}}=0\cdot634,\ k=1\cdot4 \qquad (10\cdot34)$$

என்றும்

$$\left(\frac{T_c}{T_1}\right)=\frac{2}{k+1}=0\cdot833,\ k=1\cdot4 \qquad (10\cdot35)$$

என்றும் நிரூபிக்கலாம்.

எனவே, காற்றின் அடர்த்தி 37%-மும், தனி வெப்பநிலை 17%-மும் குறைகிறது எனத் தெரிகிறது. மேலேயுள்ள தொடர்புகளைச் சமன்பாடு 10·31-ல் இட்டால்,

$$V_c=\sqrt{\frac{kp_c}{\rho_c}}$$

எனவே, அழுத்தமானது மாறுநிலையிலிருக்கும்போது முனையின் வெளிவாயிலில் ஒலித் திசைவேகம் ஏற்படுகிறது. அப்போது வெளிவரும் பொருண்மைவீதம் உச்சமாக இருக்கும். இந்தப் பொருண்மைவீதத்தை 10·33 என்ற சமன்பாட்டை சமன்பாடு 10·32-ல் $\frac{p_2}{p_1}=\frac{p_c}{p_1}$ என்ற நிபந்தனைக்கு இட்டால்,

$$m_{\text{பெரும}}=a_2\sqrt{kp_1\rho_1}\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \qquad (10\cdot36)$$

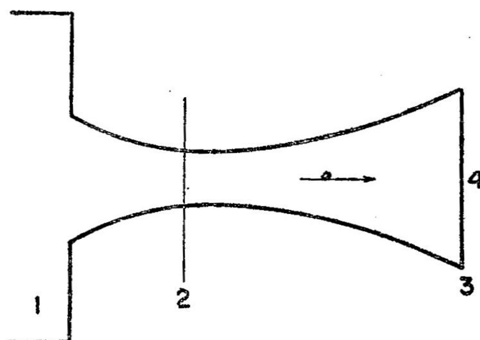
காற்றிற்கு $k=1\cdot44$ ஆதலால்,

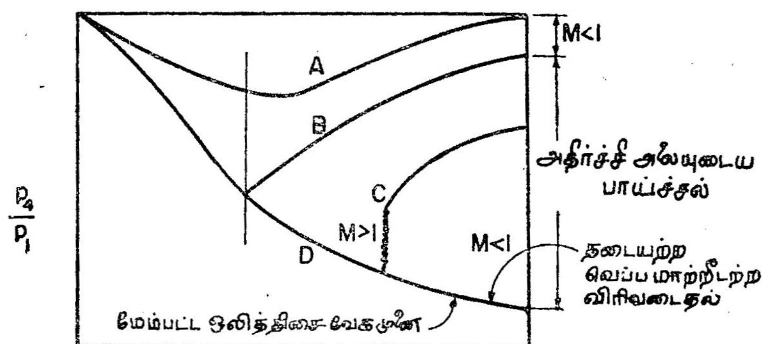
$$m_{\text{பெரும}}=0\cdot686\ a_2\sqrt{p_1\rho_1} \qquad (10\cdot37)$$

ஆகும். இதில் p_2 என்பது கிகௌ/மீ^{2}-லும் $\rho=$கிகி/மீ^{3}-லும் இருக்கின்றன. பெரிய தொட்டியிலிருந்து முனை அல்லது துளை வழியாக வெளிவரும் வாயுவின் திசைவேகம், அழுத்த விகிதம் மாறுநிலை மதிப்பை (critical value) அடையும் வரை அதிகரிக்கும் என அறிந்தோம். வெளிப்புறத்திலுள்ள அழுத்தமானது மேலும் குறைக்கப்பட்டால் வெளிவரும் பொருண்மைவீதம் மாறாமல் சமன்பாடு 10·36-ல் உள்ள மதிப்பையே உடைத்தாக இருக்கும். இதற்குக் காரணம் மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்தை எதிர்த்து எந்த அழுத்த வேறுபாடும் பரவ இயலாது இருத்தலேயாகும். முனையின் வெளிவாயிலில் வாயு ஒலித் திசைவேகத்தில் வந்து கொண்டிருக்கும். இப்படிப்பட்ட நிலைக்குத் திணறிய ஓட்டம் (choked flow) எனப் பெயர்.

10·20. குவிந்து விரியும் முனை (Convergent-Divergent Nozzle)

முன்னைய பகுதியில் ஒரு மூடிய பெரிய தொட்டியிலிருந்து அதிலுள்ள ஒரு முனைவழியாக எந்த நிலையில் உச்ச பொருண்மை வீதத்தில் பாய்மம் வெளிவரும் எனக் கண்டோம். படம் 10·13-ல்





படம் 10·13. குவிந்து விரியும் முனையின் வழி பாய்ச்சல்

உள்ளபடி நன்கு நிர்மாணிக்கப்பட்ட ஒரு விரவி (diffuser) முனையின் முடிவில் பொறுத்தப்பட்டால் அந்த அமைப்பிற்குக் குவிந்து விரியும் முனை எனப் பெயர். இந்த மாதிரியான அமைப்பு டிலாவால் நீராவி டர்பைனில் (De Laval steam turbine) கையாளப் படுகிறது. தொண்டை வெட்டுமுகமான 2-ல் ஒலித் திசைவேகம் நிகழும்போது விரிந்த பாகத்தில் மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகம் ஏற்படுவது இந்த அமைப்பில் சாத்தியமாகும். இந்த குவிந்து விரியும் முனையின் வெளிவாயிலில் பாய்மச் சிறப்பியல்புகளைப் பின்னொட்டு 3-ஆலும், வெளிப்புறத்தில் பின்னொட்டு 4-ஆலும் குறிப்பிடுவோம். வெட்டுமுகம் 4-ல் அழுத்தமானது படிப்படியாகக் குறைக்கப்படும் போது இந்த அழுத்த வேறுபாடு வெட்டுமுகம்

1 வரை பரவி, இந்த அமைப்பில் திசைவேகம் ஏற்படுகிறது. வாயுவானது தொட்டியிலுள்ள தேக்கநிலையிலிருந்து முடுக்கப்பட்டு குவிந்த பகுதிவரை அதன் முடுக்கம் தொடர்ந்து நடக்கிறது. பின்னர் விரிந்த பகுதியில் எதிர் முடுக்கம் ஏற்படுகிறது. அமுக்கமற்ற பாய்ச்சலில் ஏற்படும் நிலைமை எங்கும் வியாபிக்கிறது. p_3, p_4 என்ற வெட்டு முகங்களில் அழுத்தம் ஒரே மதிப்புகளை உடையன. மேலும் $\frac{p_2}{p_1} > \frac{p_c}{p_1}$ ஆகவும் உள்ளது. இதை படம் 10·13-ல் வளைகோடு *A* குறிக்கும் இப்போது வெளிவரும் பொருண்மைவீதமானது.

$$m = a_3 \frac{2k}{k-1} p_1 \rho_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_3}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right] \qquad (10·38)$$

வெளிப்புற அழுத்தமானது $\frac{p_2}{p_1}$ என்ற அழுத்த விகிதம் $\frac{p_c}{p_1}$ என்ற மாறுநிலை அழுத்த விகிதத்தை அடையும் அளவிற்குக் குறைக்கப்படுமானால் வாயுவானது தொண்டையில் ஒலித் திசைவேகத்தை அடைகிறது. பின்னர் விரவிப் பகுதியில் கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்தில் B என்ற வளைவுகோட்டிற்கேற்ப பாய்கிறது. இப்போது வெளிவரும் வாயுவின் பொருண்மைவீதம் சமன்பாடு 10·13-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. தொண்டையிலுள்ள திசைவேகமானது ஒலித் திசைவேகமாக இருப்பதால் வெளிப்புற அழுத்தமான p_4 மேலும் குறைக்கப்பட்டால் இந்த அழுத்த மாற்றம் தொண்டைக்கு மேற்புறம் பரவுவது இல்லை. எனவே, தொண்டைக்கு முன்புறத்தில் இப்போது பாய்மம் எவ்வித மாறுதலையும் அடைவதில்லை. ஆனால் p_4-ன் மதிப்பு குறைக்கப்படுவதால் விரிந்த பாதையில் பாய்மச் சிறப்பியல்புகள் பாதிக்கப்படுகின்றன. இந்தப் பகுதியில் பரப்பானது தடையற்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற பாய்ச்சல் நிகழுவதற்கு வசதியாக இல்லாவிட்டால் இந்தப் பகுதியில் அதிர்ச்சி அலை ஏற்படுகிறது. படத்திலுள்ள வளைகோடு C-ல் உள்ளபடி, இந்த அதிர்ச்சி அலைக்கு முன்புறம் திசைவேகமானது மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்திலும் பின்புறம் கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்திலும் இருக்கும். எனவே, இந்த விரிந்த பாதையானது முனையாகவும், பின்னர் விரவியாகவும் இருக்கிறது. இந்த அதிர்ச்சி அலை எந்த இடத்தில் ஏற்பட்டாலும் உச்ச பொருண்மைவீதத்தில் எவ்வித மாற்றமும் இல்லை. எனவே, பொருண்மைவீதத்தைச் சமன்பாடு 10·31 மூலம் காணலாம்.

இப்போது இந்தக் குவிந்து விரியும் முனையை அதன் முழு நீளத்திற்கும் தடையற்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்தில் இயங்கும்படி நிர்மாணிக்க வேண்டுமானால்

தொண்டைப் பரப்பு a_2-க்கும் வெளிவாயிற் பரப்பு a_3-க்கும் உள்ள விகிதத்தைச் சமன்பாடுகள் 10·36, 10·38-ஐச் சமன்படுத்துவதிலிருந்து அடையலாம். படம் 10·13-ல் உள்ள வளைவுகோடு D-க்கு இந்தச் சமன்பாடுகள் ஒரே மதிப்புள்ள பொருண்மைவீதத்தை தருகின்றன. எனவே,

$$a_2\sqrt{kp_1\rho_1}\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{2k+1}}$$

$$=a_3\sqrt{\frac{2k}{k-1}p_1\rho_1\left[\left(\frac{p_3}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}}-\left(\frac{p_3}{p_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right]}$$

இதைச் சரிபடுத்தினல்,

$$\frac{a_2}{a_3}=\left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{2}{2(k-1)}}\left(\frac{2}{k-1}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{p_3}{p_1}\right)^{\frac{1}{k}}\left[1-\left(\frac{p_3}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]^{\frac{1}{2}} \quad (10\cdot39)$$

மாதிரிக் கணக்கு 10·7. குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு மாறும் கடத்தியின் வழியாக நைட்ரஜன் (nitrogen) பாய்கிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட வெட்டுமுகத்தில் தனிஅழுத்தம் 80 கிநி/மீ; வெப்பநிலை 37°C; திசைவேகம் 400 மீ/வி ஆகும். உராய்வால் இழப்பு இல்லை எனக் கொண்டு வெப்ப மாற்றீடற்ற நிலைக்கு தனி அழுத்தம் 130 கிநி/மீ^{2} உள்ள வெட்டுமுகத்தில் திசைவேகத்தைக் காண். $R=0\cdot297$ கிஜூல்/கிகி°கெ.

பாய்மத்தின் தொடக்க அடர்த்தி $\rho_1=\dfrac{p_1}{RT_1}$

$$=\frac{80}{0\cdot297\times(273+37)}$$

$$=0\cdot87 \text{ கிகி/மீ}^3$$

வெப்ப மாற்றீடற்ற முறைக்குச் சமன்பாடு 10·19-ஐப் பயன்படுத்தினல்,

$$\frac{V_2{}^2}{2}-\frac{V_1{}^2}{2}=\left(\frac{k}{k-1}\right)\frac{p_1}{\rho_1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]$$

$$\frac{V_2{}^2}{2}-\frac{400^2}{2}=\frac{1\cdot4\times80\times10^3}{0\cdot4\times0\cdot87}\left[1-\left(\frac{130}{80}\right)^{\frac{0\cdot4}{1\cdot4}}\right]$$

$$V_2=254 \text{ மீ/வி}$$

இப்போது

$$T_2 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} T_1 = \left(\frac{1 \cdot 3}{0 \cdot 8}\right)^{\frac{0 \cdot 4}{1 \cdot 4}} \times 310$$

$$= 356°C$$

அவ்விடத்திலுள்ள ஒலித் திசைவேகம் $= \sqrt{kRT}$

$$= \sqrt{1 \cdot 4 \times 297 \times 356}$$

$= 384$ மீ/வி

மாக் எண் $M_2 = \frac{254}{384} = 0 \cdot 66,$

மாதிரிக் கணக்கு 10·8. ஒரு பெரிய தொட்டியில் காற்று தனி அழுத்தம் 40 பார், வெப்பநிலை 25°C அளவில் உள்ளது. அந்தத் தொட்டியிலுள்ள ஒரு துளையின்வழி வெளிவரும் காற்றின் திசை வேகத்தை துளையின் வெளிப்புறத்தில் காற்றின் அழுத்தம் 28 பார் ஆக இருக்கும்போது கணக்கிடு. $R = 0 \cdot 287$ கிஜூல்/கிகி °கெ.

$p_1 = 40$ பார்கள் $\qquad T_1 = 25 + 273 = 298$°கெ

$p_2 = 28$ பார்கள்

காற்றின் அடர்த்தி $\rho_1 = \frac{p_1}{RT_1} = \frac{40 \times 10^5}{287 \times 298} = 46 \cdot 8$ கிகி/மீ³

அழுத்த விகிதம் $\frac{p_2}{p_1} = 0 \cdot 7$ ஆனது மாறுநிலை அழுத்த விகிதமான $\frac{p_c}{p_1} = 0 \cdot 528$-ஐவிட அதிகம். எனவே, சமன்பாடு 10·30-ஐ வெளி வரும் திசைவேகத்தைக் கணக்கிட பயன்படுத்தலாம்.

$$V_2 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{p_1}{\rho_1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{2}}\right]}$$

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \times 1 \cdot 4}{0 \cdot 4} \frac{40 \times 10^5}{46 \cdot 8} \left[1 - (0 \cdot 7)^{\frac{0 \cdot 4}{1 \cdot 4}}\right]}$$

$= 245$ மீ/வி.

மாதிரிக் கணக்கு 10·9. ஒரு பாத்திரத்திலுள்ள கார்பன்-டை-ஆக்சைட் (carbon dioxide) வாயுவின் மானி அழுத்தம் 8 பார், வெப்பநிலை 20°C. அப்பாத்திரத்திலுள்ள 10 மிமீ தாரையிலிருந்து வெளிப்படும் வாயுவின் திசைவேகம் என்ன? வளிமண்டல அழுத்தம் 1 பார். $k = 1 \cdot 3$, $R = 0 \cdot 188$ கிஜூல்/கிகி °கெ,

பாத்திரத்திலுள்ள வாயுவின் அடர்த்தி $\rho_1 = \frac{p_1}{RT_1}$

$$= \frac{9 \times 10^5}{188 \times 293} = 16{\cdot}4 \text{ கி/மீ}^3$$

மாறுநிலை அழுத்த விகிதம் $\frac{p_c}{p_1} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$

$$= \left(\frac{2}{2{\cdot}3}\right)^{\frac{1{\cdot}3}{0{\cdot}3}} = 0{\cdot}542$$

இப்போது அழுத்த விகிதம் $\frac{p_2}{p_1} = \frac{1}{8+1} = \frac{1}{9} = 0{\cdot}11$. $\frac{p_2}{p_1} < \frac{p_c}{p_1}$ -ஆக இருப்பதால் வாயுவானது ஒலித் திசைவேகத்தில் வெளிவரும். இந்த திசைவேகமாக பெரும திசைவேகமாகும். துளைக்குப் பிறகு விரவி இல்லாததால் திசைவேகம் ஒலித் திசைவேகத்திற்கு அதிகரிக்க முடியாது. ஒலித் திசைவேகமானது,

$$V_c = \sqrt{\frac{kp_c}{\rho_c}}$$

$$p_c = 0{\cdot}542 \times 9 = 4{\cdot}678 \text{ பார்கள்}$$

சமன்பாடு 10·34-ஐப் பயன்படுத்தி,

$$\rho_c = \rho_1\left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{1}{k-1}} = \left(\frac{2}{2{\cdot}3}\right)^{\frac{1}{0{\cdot}3}} \times 16{\cdot}4$$

$$= 0{\cdot}625 \times 16{\cdot}4 = 10{\cdot}25 \text{ கி/மீ}^3$$

எனவே,

$$V_c = \frac{1{\cdot}3 \times 4{\cdot}678 \times 10^5}{10{\cdot}25} = 244 \text{ மீ}^3\text{/வி}$$

துளையிலிருந்து வெளிவரும் தாரையின் திசைவேகம் = 244 மீ³/வி. வெளிவரும் பொருண்மைவீதத்தைச் சமன்பாடு 10·36-லிருந்து அறியலாம்.

10·21. குழாய்களில் உராய்வோடு உள்ள ஓட்டங்கள்

இதுவரை பாய்ம ஓட்டத்திலுண்டாகும் உராய்வால் ஏற்படும் தடையை அல்லது ஆற்றலிழப்பைப் புறக்கணித்து வந்தோம். இந்த உராய்வால் எவ்வாறு பாய்ச்சல் பாதிக்கப்படுகிறது என்பதை இனி பார்ப்போம். கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகங்களில் எவ்வாறு அமுக்கமற்ற பாய்ச்சல்களில் அழுத்த வேறுபாடு ஏற்படுகிறதோ

அதேபோல் அமுக்கப் பாய்ச்சல்களிலும் அழுத்த வேறுபாடு ஏற்படுகிறது. ஆனால் உராய்வால் ஏற்படும் வெப்பத்தால் அக ஆற்றல் அதிகரித்து, அதனால் அடர்த்தி, அழுத்தம் முதலியவற்றால் ஏற்படும் மாறுதல்களால் பாய்மத்தின் நிறையலகு பருமன் (specific volume) அதிகரிக்கிறது. எனவே, குழாயில் திசைவேகமானது ஒலித் திசைவேகம் வரை அதிகரித்து ஓட்டத்தில் திணறலை (choking) உண்டாக்குகிறது. ஒரு பரிமாண, நிலையான, நிறைவுடை பாய்ம ஓட்டத்தை எடுத்துக்கொண்டு, நேரான பரப்பு மாறாத கிடைக்குழாய் பாய்ச்சலுக்கு உந்தச் சமன்பாட்டை dL என்ற குழாய் நீளத்திற்கு பகுதி 10·12-ல் உள்ளபடி எழுதினால்,

$$VdV+\frac{dp}{\rho}+\frac{f}{D}\frac{V^2}{2}dL=0$$

மேலே உள்ள சமன்பாட்டில் மாக் எண்ணைப் பயன்படுத்தி மறுபடி எழுதினால்,

$$k\mathbf{M}^2\frac{dV}{V}+\frac{dp}{\rho}+\frac{k\mathbf{M}^2}{2}f\frac{dL}{D}=0 \qquad (10{\cdot}40)$$

இதில் $\mathbf{M}=\frac{V}{C}=\frac{V}{\sqrt{\frac{kp}{\rho}}}$ ஆகும்.

தொடர் நிகழ்ச்சி எத்தன்மைத்தானது என்பதும் உராய்வுக் கெழுவின் மதிப்பும் தெரிந்தால் மேலே உள்ள சமன்பாட்டை தொகையிட முடியும். நாம் வெப்பநிலை மாறா முறை, வெப்ப மாற்றீடற்ற முறை ஆக இரண்டு நிலைகளையும் எடுத்துக் கொள்வோம்.

10·22. வெப்பநிலை மாறா முறையில் குழாயில் பாய்ச்சல்

நீளமான குழாயில் மிகக் குறைந்த திசைவேகத்தில் பாய்மம் பாயுமானால் வெப்பப் பரிமாற்றத்திற்கு நல்ல வாய்ப்பு இருப்பதால் வெப்பநிலை மாறாத தொடர் நிகழ்ச்சி நிகழ்வதாக எடுத்துக் கொள்ளலாம். இம்முறையில் வழவழப்பான குழாய்களுக்கு உராய்வுக் கெழுவானது f மாறிலி எனவும், அது ரெயினால்ஸ் எண்ணை மட்டும் பொருத்தது எனவும் கொள்ளலாம். வெப்பநிலை மாறாத முறையில் பாய்மத்தின் இயக்கவிசைப் பாகுநிலையும் மாறாது. குழாயின் வழி பாயும் பொருண்மைவீதமும் மாறிலியாதலால் ரெயினால்ஸ் எண்ணின் மதிப்பும் மாறாது.

நிலைச் சமன்பாடு (equation of state) தொடர்ச் சமன்பாடு (continuity equation) இவற்றிலிருந்து,

$$\frac{p_1}{p}=\frac{\rho_1}{\rho}=\frac{V}{V_1}=\frac{V}{\mathbf{M}_1\sqrt{\frac{kp_1}{\rho_1}}}$$

மேலும்

$$\frac{dp}{\rho}=-\frac{dV}{V}$$

$$p_1{}^2\mathbf{M}_1{}^2=p_2{}^2\mathbf{M}^2 \quad (10{\cdot}41)$$

மேலேயுள்ள தொடர்புகளை சமன்பாடு 10·40-ல் பயன்படுத்தி, சீர்படுத்தினுல்,

$$-\frac{2dp}{p}+\frac{1}{k\mathbf{M}_1{}^2}2p\frac{dp}{p_1{}^2}+\frac{fdL}{D}=0 \quad (10{\cdot}42)$$

வெட்டுமுகம் 1, 2-க்கிடையில் தொகையிட்டு $(l_1-l_2)=L$ எனக் கொண்டால்,

$$\frac{p_1{}^2-p_2{}^2}{p_1{}^2}=k\mathbf{M}_1{}^2\left[2\log_e\left(\frac{p_1}{p_2}\right)+f\frac{L}{D}\right] \quad (10{\cdot}43)$$

இந்தச் சமன்பாடு அழுத்தக் குறைவு (**pressure drop**), உராய்வுக் கெழு இவற்றிற்கான தொடர்பை வெப்பநிலை மாருத முறையில், குழாயில் நிகழும் அமுக்கப் பாய்ச்சலுக்குத் தருகிறது. நீளமான குழாய்களில் $\frac{fl}{D}\gg 2\log_e\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$-ஆக இருக்குமாதலால் சமன்பாடு கீழ்க்கண்ட வடிவை அடைகிறது.

$$\frac{p_1{}^2-p_2{}^2}{p_1{}^2}=k\mathbf{M}_1{}^2\frac{fl}{D} \quad (10{\cdot}44)$$

சமன்பாடு 10·40-ஐ மறுபடியும் எழுதினுல்,

$$\frac{dp}{p}=-\frac{dV}{V}=\frac{-k\mathbf{M}^2}{2(1-k\mathbf{M}^2)}f\;\frac{dL}{D} \quad (10{\cdot}45)$$

மேலே உள்ள சமன்பாடு $k\mathbf{M}^2>1$-ஆக இருக்கும்போது கீழ்ப்புறத்தில் அழுத்தம் அதிகரிக்கிறது; திசைவேகம் குறைகிறது எனக் காட்டுகிறது. கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்தில் $k\mathbf{M}^2>1$ ஆவதால், அழுத்தம் பாய்மம் பாயும் திசையில் குறைகிறது; திசைவேகம் அதிகரிக்கிறது. இந்த இரண்டு நிலைகளிலும் திசைவேகமானது அதன் வெளிவாயிலில் அதன் வரம்பு மதிப்பான $\mathbf{M}=\frac{1}{\sqrt{k}}$-யை

அடைகிறது. இந்தக் குழாய் நீளத்திற்கு வரம்பு நீளம் (limiting length) எனப்பெயர். குழாயின் நீளம் வரம்பு நீளத்திற்கு அதிகமாக இருக்குமானால் அதிர்ச்சி அலை ஏற்பட வேண்டும் அல்லது குழாயின் தொடக்கத்திலுள்ள அழுத்தத்தில் மாறுபாடு ஏற்பட்டு குழாய் வழி பாயும் வாயுவின் பொருண்மைவீதத்தைக் குறைக்க வேண்டும். மாறாத பரப்புள்ள குழாயில் வெப்பநிலை மாறாத பாய்ச்சல் நடைமுறையில் நிகழ்வதில்லை. உண்மையில் நிகழும் பாய்ச்சல் வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையை அடுத்து இருக்கும். வெப்பம் மாறாத, உராய்வற்ற பாய்ச்சல்களுக்கு ராலே, ஃபானோக் கோடுகளைப் பயன்படுத்த முடியாது.

மாதிரிக் கணக்கு 10·10. 0·3 மீ விட்டமுள்ள குழாயின் நுழை வாயிலில் (inlet) காற்றின் சிறப்பியல்புகளான $p_1 = 20$ பார்கள் (தனி), $T_1 = 16°$செ, $V_1 = 100$ மீ/வி வெப்பநிலை மாறாப் பாய்ச்சலுக்கு வரம்பு நீளத்தையும் அழுத்தத்தையும் கணக்கிடு. $R = 0·287$ கிஜூல்/கிகி°கெ, $k = 1·4$, $f = 0·02$ ஆகும்.

$p_1 = 20$ பார்கள் $\qquad k = 1·4$

$T_1 = (16+273) = 289°$கெ

$V_1 = 100$ மீ/வி $\qquad f = 0·02$

$R = 0·287$ கிஜூல்/கிகி°கெ

நுழைவாயிலில் மாக் எண் $$\mathbf{M}_1 = \frac{V_1}{\sqrt{kRT_1}} = \frac{100}{\sqrt{1·4 \times 287 \times 289}}$$

$$= \frac{100}{336} = 0·297$$

வெப்பநிலை மாறாப் பாய்ச்சலில் வரம்பு நிலை வெட்டுமுகம் 2-ல் ஏற்படுகிறது. அங்கே

$$\mathbf{M}_2 = \frac{1}{\sqrt{k}} = \frac{1}{\sqrt{1·4}} = 0·345$$

வெப்பநிலை மாறா தொடர் நிகழ்ச்சிக்கு சமன்பாடு 10·28-லிருந்து,

$$p_2 = \frac{\mathbf{M}_1}{\mathbf{M}_2} p_1 = \frac{0·297}{0·845} \times 20 = 7·03 \text{ பார்கள்}$$

எனவே, வரம்பு அழுத்தம் $p_2 = 7·03$ பார்கள் (தனி) வரம்பு நீளத்தை சமன்பாடு 10·43-லிருந்து கணிக்கலாம்.

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{p_1^2} = k\mathbf{M}_1^2 \left[2 \log_e\left(\frac{p_1}{p_2}\right) + f\frac{L}{D}\right]$$

$$1 - \left(\frac{7·03}{20}\right)^2 = 1·4 \times 0·297^2 \left[2 \log_e \frac{20·0}{7·03} + \frac{0·02L}{0·3}\right]$$

ஆகவே, $L = 75·6$ மீ.

10·23. குழாய்களில் வெப்ப மாற்றீடற்ற உராய்வற்ற, பாய்ச்சல்

பரப்பு மாருத குழாயில் நிலையாக நிகழும் வெப்ப மாற்றீடற்ற பாய்ச்சலானது தனது தன்மைகளை ஃபானே வளைகோட்டில் உள்ளபடி கொண்டிருக்கிறது எனப் பார்த்தோம். படம் 10·7-ல் உள்ளபடி கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகங்களில் படிப்படியாக திசை வேகத்தை அதிகரித்து, ஒலித் திசைவேகத்தை அடைதல் முடியும். இந்தத் தொடர் நிகழ்ச்சியில் என்ட்ரபி அதிகரிக்கிறது. நடைமுறை நிகழ்ச்சிகளில் என்ட்ரபி குறையாது. எனவே, குழாயில் பாய்ச்சலானது M=1 என்ற நிலைக்குப் பின்னர் தொடர்ந்து நிகழ முடியாது. ஆதலால் M=1 என்ற நிலை ஏற்படும்போது குழாயின் நீளம் வரம்பு நீளத்தை அடையும். இது வெப்பநிலை மாரு முறையில் ஏற்படும் வரம்பு நீளத்தை ஒத்தது.

கீழ்ப்பட்ட திசைவேகங்களில் குழாயில் திசைவேகம் அதிகரிக்கும்போது அழுத்தம் குறையும்; குழாயின் இறுதியில் ஒலித் திசைவேகம் ஏற்படலாம். இதற்குமேல் குழாயின் நீளம் அதிகரிக்கப் பட்டால் குழாயின் இறுதியில் ஒலித் திசைவேகம் ஏற்படும்படி பொருண்மையின் பாயுவீதம் குறையும். பாய்ச்சலானது தொடக்கத்திலேயே மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்திலிருக்குமானுல் நேர் குத்து அதிர்ச்சியானது குழாயின் கடைசிப் பாகத்தில் ஏற்படும். அதிர்ச்சிக்குப்பின் ஏற்படும் கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகமானது பின்னர் முடுக்கப்பட்டு குழாயின் இறுதியில் ஒலித் திசைவேகத்தை அடைகிறது. குழாயின் நீளத்தைப் பொருத்து நேர்குத்து அதிர்ச்சியின் இடம் இருக்கும்.

10·24. அமுக்கப் பாய்ச்சலில் அளவை முறைகள்

பெரிய பாத்திரத்திலிருந்து துளை வழியாக வெளிவரும் வாயுவின் பொருண்மைவீதத்தை முன்னர் விளக்கியுள்ளபடி கணக்கிடலாம். கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகங்களில் குழாயில் ஏற்படும் பாயுவீதத்தை வெஞ்சுரிமானி, துளைமானி இவற்ருல் கண்டறியலாம். பிட்டாட் குழாயை கட்டற்ற பாய்ச்சல்களில் (free stream) எந்தத் திசைவேகத்திற்கும் பயன்படுத்தலாம்.

10·25. குறுக்க மானிகள் (Constriction Meters)

அத்தியாயம் 4-ல் வெஞ்சுரிமானி, துளைமானி இவற்றின் வடிவம், அதன்வழி பாயும் பாய்மத்திலேற்படும் அழுத்த வேறுபாடு முதலிய தெரியுமானுல் பாயுவீதத்தை அமுக்கமற்ற பாய்ச்சல்களுக்குக் கணக்கிடலாம் எனப் பார்த்தோம். இப்போது இந்த வகை இறுக்க மானிகளின் வழியாகப் பாயும் ஒரு பரிமாண, வெப்ப மாற்றீடற்ற, அமுக்கப் பாய்ம ஓட்டங்களில் பாயுவீதத்தை மாறு

நிலை அழுத்த விகிதத்திற்கு அதிகமாக உள்ள நிலைகளுக்கு எவ்வாறு கணக்கிடுவது என்பது பற்றி படிப்போம்.

தொடக்கத்திலுள்ள நிலையை பின்னொட்டு 1 என்றும், குறுக்கப் பகுதியிலுள்ள நிலையை பின்னொட்டு 2 என்றும் குறியிட்டு ஆற்றல் சமன்பாட்டை எழுதினால்,

$$\left(\frac{k}{k-1}\right)\frac{p_1}{\rho_1}+\frac{V_1{}^2}{2}=\left(\frac{k}{k-1}\right)\frac{p_2}{\rho_2}+\frac{V_2{}^2}{2}$$

தொடர்ச் சமன்பாடானது,

$$A_1\rho_1V_1=A_2\rho_2V_2$$

ஆற்றல் சமன்பாட்டிலிருந்து V_1-ஐ நீக்கினால்,

$$\frac{V_2{}^2}{2}\left[1-\left(\frac{A_2\rho_2}{A_1\rho_1}\right)^2\right]=\frac{k}{k-1}\frac{p_1}{\rho_1}\left[\frac{p_2}{p_1}\frac{\rho_1}{\rho_2}-1\right]=0$$

தடையற்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற பாய்ச்சல்களுக்கு,

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)=\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^k$$

எனவே,

$$V_2=\left\{\frac{\frac{2k}{k-1}\frac{p_1}{\rho_1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}{1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}}}\right\}^{\frac{1}{2}} \qquad (10{\cdot}46)$$

எனவே, பொருண்மையின் பாயுவீதம்

$$m=C\rho_2A_2V_2=C\rho_2A_2\left\{\frac{\frac{2k}{k-1}\frac{p_1}{\rho_1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}{1-\left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}}}\right\}^{\frac{1}{2}} \qquad (10{\cdot}47)$$

இதில் C என்பது மானிக் கெழுவைக் குறிக்கும். இந்தக் கெழு உராய்வு மற்றவற்றால் ஏற்படும் இழப்புகளைச் சரிசெய்து கொள்கிறது. அதன் மதிப்பு அமுக்கமற்ற பாய்ச்சல்களில் உள்ள அளவினது எனச் சோதனைகளிலிருந்து தெரிகிறது. இதுபற்றிய விளக்கங்களை இந்தியத் தர நிர்ணயக் கழகம் (Indian Standards Institution) வெளியிட்டுள்ள தரக்கட்டுப்பாடு பற்றிய வெளியீடுகளிலிருந்து அறிந்து கொள்ளலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 10·11. ஒரு 0·2 மீ × 0·1 மீ அளவுள்ள கிடை வெஞ்சுரிமானி 20°C வெப்பநிலையில் பாயும் கார்பன்-டை-ஆக்ஸைட் வாயுவின் பாயுவீதத்தை அளக்கப் பயன்படுகிறது. நீர் U-குழாய்மானியில் நீரின் உயரம் 1·5 மீ. வெளிமண்டல அழுத்தம் 76 மிமீ பாதரச உயரம். தொடக்க தனி அழுத்தம் 1·3 பாராக இருக்கும்போது இந்தக் குழாய்வழி பாயும் பொருண்மையின் வீதம் என்ன? $k=1{\cdot}30$, $R=0{\cdot}188$ கிஜூல்/கிகி °கெ

$$A_1=\frac{\pi}{4}\times 0{\cdot}2^2=0{\cdot}0314 \text{ மீ}^2$$

$$A_2=\frac{\pi}{4}\times 0{\cdot}1^2=0{\cdot}00785 \text{ மீ}^2$$

தொடக்கத்தில் வாயுவின் அடர்த்தி $\rho_1=\dfrac{p_1}{RT_1}=\dfrac{1{\cdot}35\times 10^5}{188\times 293}$

$=2{\cdot}46$ கிகி/மீ³

$$w_1=\rho_1 g=2{\cdot}43\times 9{\cdot}81=24{\cdot}12 \text{ நி/மீ}^3$$

அழுத்த வேறுபாடு $(p_1-p_2)=1{\cdot}5(9810-24{\cdot}12)$

$=9785{\cdot}88$ நி/மீ²

எனவே, தொண்டை அழுத்தம் $=135000-9786$

$=125214$ நி/மீ²

இப்போது

$$\frac{p_1}{\rho_1{}^k}=\frac{p_2}{\rho_2{}^k}$$

ஆகையால்

$$\rho_2=\rho_1\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1}{k}}=2{\cdot}46\left(\frac{125274}{135000}\right)^{\frac{1}{1\cdot 3}}$$

$=2{\cdot}24$ கிகி/மீ³

சமன்பாடு 10·47-ல் இந்த மதிப்புகளை இட்டு, $C=1$ எடுத்துக் கொண்டால்,

$$m=\rho_2 A_2\left\{\frac{\dfrac{2k}{k-1}\dfrac{p_1}{\rho_1}\left[1-\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]}{1-\left(\dfrac{A_2}{A_1}\right)^2\left(\dfrac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}}}\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$=2{\cdot}24\times 0{\cdot}00785\left\{\frac{\dfrac{2\times 1{\cdot}3}{0{\cdot}3}\;\dfrac{135000}{2{\cdot}46}\left[1-\left(\dfrac{125214}{135000}\right)^{\frac{0\cdot 3}{1\cdot 3}}\right]}{1-\left(\dfrac{0{\cdot}1}{0{\cdot}2}\right)^4\left(\dfrac{125214}{135000}\right)^{\frac{2}{1\cdot 3}}}\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$=2{\cdot}17$ கிகி/வி.

10.26. தேக்க அழுத்தமும் வெப்பநிலையும் (Stagnation Pressure and Temperature)

அமுக்கமற்ற பாய்ச்சலில் தேக்க அழுத்தமான p_s, கட்டற்ற பாய்ச்சலின் அழுத்தம் p_0, இயக்கவிசை அழுத்தம் $\frac{\rho_0 V_0^2}{2}$ இவற்றின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும். ஆனால் அமுக்கப் பாய்ச்சலில் தேக்க அழுத்தமானது அமுக்கமற்ற பாய்ச்சலில் உள்ளதைவிட அதிகமாக இருக்கும். தேக்கப் புள்ளிக்கும், கட்டற்ற பாய்ச்சல் புலத்திலுள்ள ஒரு புள்ளிக்குமிடையே ஆற்றல் சமன்பாட்டைச் செயல்படுத்தினால்,

$$\frac{V_s^2 - V_0^2}{2} = \frac{k}{k-1}\frac{p_0}{\rho_0}\left[1 - \left(\frac{p_s}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]$$

ஆற்றல் சமன்பாட்டை கட்டற்ற பாய்ச்சலின் மாக் எண்ணால் எழுதினால்,

$$\frac{p_s}{p_0} = \left[1 + \left(\frac{k-1}{2}\right)M_0^2\right]^{\frac{k}{k-1}}$$

இதில் $M_0 = \dfrac{V_0}{\sqrt{\dfrac{kp_0}{\rho_0}}}$. மேலும் $V_s = 0$.

$\frac{p_s}{p_0}$ என்ற விகிதத்தை விளக்கும் சமன்பாட்டின் வலது பக்கத்தை விரித்தால்,

$$p_s = p_0 + \tfrac{1}{2}\rho_0 V_0^2 = \left[1 + \frac{M_0^2}{4} + \left(\frac{2-k}{24}\right)M_0^4 + \dots\right] \quad (10{\cdot}48)$$

பிறைகளுக்குள் இருக்கும் உறுப்புகளுக்கு அமுக்கக் கெழு (compressibility factor) எனப் பெயர். M_0-ன் மதிப்பு 0·2-ஆக இருக்கும்போது அமுக்க விளைவால் தேக்க அழுத்தமானது 1%-க்கும் குறைவாகவும், M_0-வின் மதிப்பு 0·5-ஆக இருக்கும்போது 6·4% அளவிற்கும் பாதிக்கப்படுகிறது. எனவே, மாக் எண்ணின் மதிப்பு 0·2 அல்லது அதற்குக் குறைவாக இருக்கும்போது அமுக்க விளைவுகளை நாம் புறக்கணித்து விடலாம். C_p மாறவில்லை என எடுத்துக் கொண்டு தடையற்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற ஓட்டங்களுக்குத் தேக்க வெப்பநிலையானது,

$$C_p T_0 + \frac{V_0^2}{2} = C_p T_s \quad (10{\cdot}49)$$

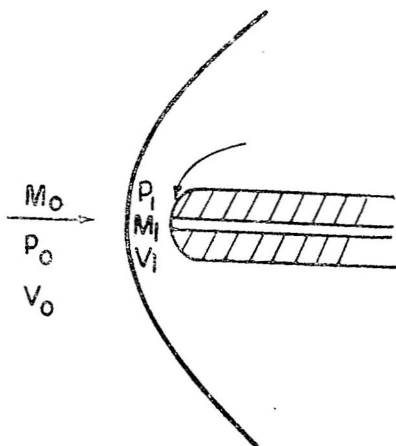
கட்டற்ற பாய்ச்சலின் மாக் எண்ணை எழுதினல்,

$$M_0 = \frac{V_0}{\sqrt{kRT_0}}$$

$$\frac{T_s}{T_1} = 1 + \left(\frac{k-1}{2}\right) M_0^{\,2} \qquad (10{\cdot}50)$$

10·27. பிட்டாட் குழாய் (Pitot Tube)

ஒரு புள்ளியிலுள்ள தேக்க அழுத்தத்தை அளக்க பிட்டாட் குழாய் பயன்படுகிறது. கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகங்களுக்கு ρ_0, p_0 என்பவற்றின் மதிப்புகள் கொடுக்கப்பட்டு, p_s-ன் மதிப்பை பிட்டாட் குழாயால் அளந்தறிந்தால் சமன்பாடு 10·48-ஐப் பயன்படுத்தி கட்டற்ற பாய்ச்சல் புலத்தின் திசைவேகத்தைக் கணக்கிடலாம். ஆனல் இந்தச் சமன்பாட்டை மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகங்களுக்குப் பயன்படுத்த முடியாது. படம் 10·14-ல் உள்ளபடி அமைந்த பிரிந்த அதிர்ச்சி அலையை (detached shock wave) எடுத்துக் கொண்டால் பிட்டாட் குழாயின் அச்சானது வரும் பாய்மத்தின் திசைக்கு இணையாக ஆனல் எதிராக இருக்குமானல்,



படம் 10·14. மேம்பட்ட ஒலித் திசை வேகத்தில் பிட்டாட் குழாய்மானி

$$\frac{p_1}{p_0} = \frac{1 + k\mathbf{M}_0^{\,2}}{1 + k\mathbf{M}_1^{\,2}}$$

அதிர்ச்சி அலைக்குப் பின்னுள்ள கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்தில் p_1-க்கும் p_s-க்குமுள்ள தொடர்பானது,

$$\frac{p_s}{p_0} = \frac{p_s}{p_1}\,\frac{p_1}{p_0} = \left[1 + \left(\frac{k-1}{2}\right)\mathbf{M}_1^{\,2}\right]^{\frac{k}{k-1}} \left(\frac{1 + k\mathbf{M}_0^{\,2}}{1 + k\mathbf{M}_1^{\,2}}\right) \qquad (10{\cdot}51)$$

சமன்பாடு 10·29-ஐப் பயன்படுத்தி M_1-ஐ M-ஆல் எழுதினுல்,

$$\frac{p_s}{p_0}=\left[\frac{(k+1)^{k+1}}{2kM_0^2-(k+1)}\left(\frac{M_0^2}{2}\right)^k\right]^{\frac{k}{k-1}} \qquad (10\cdot52)$$

$$=\frac{166\cdot9\ M_0^7}{(7M_0^2-1)^{\frac{5}{2}}}, \qquad k=1\cdot4\text{-ஆக இருக்கும்போது}$$

சமன்பாடு 10·52-க்கு ராலே-பிட்டாட் சமன்பாடு எனப் பெயர். கட்டற்ற அழுத்தத்தைப் பிட்டாட் குழாயிலிருந்து குறைந்தது 10 விட்டங்களுக்கு முன்னுல் அளக்கவேண்டும்.

கட்டற்ற பாய்ச்சல் புலத்தில் மாக் எண்ணை தேக்க வெப்ப நிலையிலிருந்தும் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டின் மூலம் கணக்கிடலாம்.

$$C_pT_s=C_pT_0+\frac{V_0^2}{2}=C_p\frac{V_0^2}{kRM_0^2}+\frac{V_0^2}{2} \qquad (10\cdot53)$$

மாதிரிக் கணக்கு 10·12. ஒரு விமானம் சலனமற்ற வெளி மண்டலத்தில் 200 மீ/வி வேகத்தில் பறக்கிறது. வெளிமண்டலத்தில் தனி அழுத்தம் 0·8 பார் ஆகவும், வெப்பநிலை —15°C ஆகவும் இருக்குமானுல் தேக்க அழுத்தம், வெப்பநிலை, காற்றின் அடர்த்தி இவற்றை கணக்கிடு. மாக் எண்ணின் மதிப்பு என்ன?

$p_0=0\cdot8$ பார் $\qquad T_0=273-15=258°$கெ

$R=0\cdot287$ கிஜூல்/கிகி°கெ

காற்றின் அடர்த்தி $\rho_0=\frac{p_0}{RT_0}=\frac{0\cdot8\times10^5}{287\times258}=1\cdot08$ கிகி/மீ^{3}

ஒலித் திசைவேகம் $C_0=\sqrt{kRT}=\sqrt{1\cdot4\times287\times258}$

$=322\cdot2$ மீ/வி

எனவே, அந்த இடத்தில் மாக் எண் $=\frac{V_0}{C_0}=\frac{200}{322\cdot2}$

$=0\cdot62$

தேக்க அழுத்தம் $p_s=p_0+\frac{1}{2}\rho_0V_0^2(1+\frac{1}{4}M_0^2+\ldots\ldots)$

$=0\cdot8\times10^5+\frac{1}{2}\times1\cdot08\times200^2(1+\frac{1}{4}\times0\cdot62^2+\ldots\ldots\ldots)$

$=1\ 037\times10^5$ நி/மீ^{2}

தேக்க வெப்பநிலையானது சமன்பாடு 10·50-லிருந்து,

$$T_s = T_0 \left[1 + \left(\frac{k-1}{2}\right) M_0^2 \right]$$

$$= 258[1 + 0{\cdot}2 \times 0{\cdot}62^2] = 278°\text{கெ}$$

∴ தேக்க வெப்பநிலை $t_s = 5°C$

தேக்கப்புள்ளியில் அடர்த்தி $\rho_s = \frac{p_s}{RT_s} = \frac{1{\cdot}037 \times 10^5}{287 \times 279}$

$= 1{\cdot}29$ கிகி/மீ³.

10·28. சூடான கம்பி வேகமானி (Hot Wire Anemometer)

இந்த வேகமானியில் டங்ஸ்டன் (tungsten) அல்லது பிளாட்டி னத்(platinum)தினாலான 0·002 மிமீ விட்டம், 2 மிமீ நீளமுள்ள கம்பி உணர்வு சாதன(sensing element)மாகப் பயன்படுகிறது. இந்த உணர்வு சாதனக் கம்பி 100°C வெப்பநிலைக்கு சூடேற்றப் படுகிறது. இதிலிருந்து ஏற்படும் வெப்பப் பரிமாற்றம் அதன்வழி பாயும் காற்றின் திசைவேகத்தைப் பொருத்தது. இந்த மானியி லுள்ள மின்சார ஏற்றுக்கள் (electrical circuits) அந்த மெல்லிய கம்பியில் எப்போதும் ஒரே வெப்பநிலை அல்லது ஒரே அளவு மின் சார ஓட்டம் இருக்கும்படி நிர்மாணிக்கப்பட்டுள்ளன. வெப்பநிலை அல்லது மின்சார ஓட்டத்தின் அளவில் ஏற்படும் மாறுதல்கள் காற்றின் திசைவேகத்தைப் பொருத்தது. எனவே, சரியான அளவுதிருத்த முறைப்படி, இந்தக் கருவியின் மூலம் காற்றின் திசைவேகத்தை அளப்பதோடு மட்டுமின்றி மாறிக்கொண் டிருக்கும் கொந்தளிப்புத் திசைவேகக் கூறையும் அளக்கமுடியும்.

10·29. கால்வாய் ஓட்டத்திற்கும் அமுக்கப் பாய்ம ஓட்டத்திற்கு முள்ள ஒருமைப்பாடு

கால்வாய் ஓட்டத்திற்கும் அமுக்கப் பாய்ம ஓட்டத்திற்கும் பலவற்றில் ஒருமைப்பாடு இருப்பதால் அமுக்கப் பாய்ச்சல் பற்றிய சில உண்மைகளை எளிதாகவும் சிக்கனமாகவும் கால்வாய் ஓட்டத் தின் சோதனைகளிலிருந்தே தெரிந்து கொள்ளலாம்.

குறைந்த ஆழமுள்ள கால்வாய்களில் ஏற்படும் சலனம் அல்லது உலைவானது, ஓய்வாக உள்ள நீரில் எல்லாப் பக்கங்களிலும் $\sqrt{gy}$ மதிப்புள்ள மாறுநிலைத் திசைவேகத்தில் பாயுமென அடுத்த அத்தியாயத்தில் பார்ப்போம். கால்வாயில் நீரின் திசைவேகம் மாறுநிலையில் இருந்தால் சலனம் மேல்நோக்கிச் செல்லமுடியாது.

$\frac{V}{\sqrt{gy}}$ என்ற விகிதமானது ஃப்ரூடு எண் என்றும் மாறுநிலையில் இந்த எண்ணின் மதிப்பு ஒன்று எனப் பின்னர் காட்டப்படும். ஃப்ரூடு எண்ணானது அமுக்கப் பாய்ச்சலில் மாக் எண்ணிற்கு ஒப்பாகும். மாக் எண்ணின் மதிப்பு ஒன்றாக இருக்கும்போது எந்தச் சலனமும் பாய்மம் பாயும் திசைக்கு எதிராகச் செல்ல முடியாது.

அமுக்கப் பாய்ச்சலில் தொடர்ச் சமன்பாடு $\rho V = C$ ஆகும். அதேபோல் கால்வாய் ஓட்டத்தில் $yV = C'$ ஆகும். இங்கே ρ என்ற அடர்த்தி, கால்வாய் ஓட்டத்தில் y என்ற ஆழத்திற்குச் சமமாகும். இதே போல் ஆற்றல் சமன்பாட்டை எடுத்துக் கொண்டால், உராய்வைப் புறக்கணித்துவிட்டு,

$$\frac{V^2}{2g} + y = \text{மாறிலி}$$

எனத் தெரியும். இதை வகையிட்டால்,

$$VdV + gdy = 0$$

இதில் $V_c = \sqrt{gy}$ என்ற சமன்பாட்டை இட்டால்,

$$VdV + V_c^2 \frac{dy}{y} = 0 \qquad (10{\cdot}54)$$

அமுக்கப் பாய்ச்சலில் உந்தச் சமன்பாட்டை எடுத்துக் கொண்டால்,

$$VdV + \frac{dp}{\rho} = 0$$

$\frac{dp}{d\rho} = C^2$ ஆதலால்

$$VdV + \frac{dp}{\rho}\frac{d\rho}{d\rho} = VdV + C^2 \frac{d\rho}{\rho} = 0 \qquad (10{\cdot}55)$$

ஆகவே, கால்வாய் ஓட்டத்திலுள்ள மாறுநிலைத் திசைவேகமும், அமுக்கப்பாய்ம ஓட்டத்திலுள்ள ஒலித் திசைவேகமும் ஒப்பானவை.

கால்வாயில் ஏற்படும் நீரியற் குதிப்பு நேர்குத்து அதிர்ச்சி அலைக்கு ஒப்பாகும். நீரியற்குதிப்பில் திசைவேகமானது மேம்பட்ட நிலையிலிருந்து கீழ்ப்பட்ட நிலைக்கு மாறுகிறது; நீரின் ஆழமும் அதிகரிக்கிறது. அதேபோல் அமுக்கப் பாய்ம ஓட்டத்தில்

நேர்குத்து அதிர்ச்சி அலையால் வாயுவின் அடர்த்தி அதிகரிக்கிறது; திசைவேகம் மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்திலிருந்து கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகத்திற்கு மாறுகிறது. இரண்டு வகையான நிகழ்ச்சிகளிலும் என்ட்ரபி அதிகரிப்பதால் அதிக ஆற்றலிழப்பு ஏற்படுகிறது. எவ்வாறு எதிர் நீரியற்குதிப்பு சாத்தியமல்லவோ அதே போல் எதிர் நேர்குத்து அதிர்ச்சி அலையும் சாத்தியமல்ல.

பயிற்சிக் கணக்குகள்

10·1. 100°C வெப்பநிலை, 250 மடங்கு வெளிமண்டல அழுத்தம் இவற்றில் காற்றின் அடர்த்தி என்ன?

10·2. 15°C வெப்பநிலையிலுள்ள 10 மீ^{3} காற்றானது 50 பார்கள் தனி அழுத்தத்திற்கு வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் உட்படுத்தப்பட்டால் இறுதிப் பருமனளவு என்ன?

10·3. 15°C வெப்பநிலையிலும் 20 பார்கள் தனி அழுத்தத்திலும் உள்ள கார்பன்-டை-ஆக்சைட் வாயுவின் வெப்பநிலை 60°C உயர்த்தப்படுகிறது. பாலிடிராபிக் முறையில் $n=1{\cdot}2$, இறுதி அழுத்தத்தைக் கணக்கிடு.

10·4. 10 கி பொருண்மையுள்ள காற்று 15°C வெப்பநிலை 10 பார்கள் (மானி) அழுத்தத்திலிருந்து ஒரே வெப்ப நிலையில் 1 பார் அழுத்தத்திற்கு விரிகிறது. விரிந்தபின் காற்றின் கன அளவு, வெப்ப இழப்பு, செய்யப்பட்ட வினை என்ன?

10·5. வெளிமண்டல அழுத்தத்தில் 15°C வெப்பநிலையிலுள்ள காற்றானது 20 பார்கள் அழுத்தத்திற்கு அமுக்கப்படுகிறது. ஒரு கிலோகிராம் காற்றை அமுக்கத் தேவையான வினை (1) வெப்ப மாற்றீடற்ற முறை (2) வெப்பநிலை மாறாமுறை இவற்றில் என்ன?

10·6. ராக்கெட்டானது (rocket) வெளிமண்டலத்தில் 380 கிமீ/மணி வேகத்தில் செல்கிறது. மாக் எண் என்ன? காற்றின் வெப்பம் 15°C.

10·7. கணக்கு 10·6-ல் அந்த ராக்கெட்டின் முனையில் தேக்க அழுத்தத்தையும் தேக்க வெப்பநிலையையும் கணக்கிடு.

10·8. ஒரு பிட்டாட் குழாய் 38 மிமீ தேக்க அழுத்தத்தை 1·25 கிகி/மீ^{3} அடர்த்தி, 15°C வெப்பநிலை, 1 பார் அழுத்த

முள்ள காற்றிலிருக்கும்போது காட்டினுல் அக்காற்றின் மாக் எண்ணைக் கணக்கிடு.

10·9. வெளிமண்டலத்தில் பாய்ந்து செல்லும் ஒரு குண்டு 25° மாக் கோணத்தை உண்டாக்குகிறது. அக்குண்டின் வேகம் என்ன?

10·10. 1·25 கிகி/மீ^{3} அடர்த்தியும், 15°C வெப்பநிலையுமுள்ள காற்று 100 மீ/வி வேகத்தில் வீசுகிறது. இதைப் பிட்டாட் குழாயால் அளந்து, அமுக்கமற்ற பாய்மத்திற்கான சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்திஞல் ஏற்படும் தவறை சதவீதத்தில் கணக்கிடவும்.

10·11. பிட்டாட் குழாயால் அளக்கும்போது தேக்க அழுத்தத்திற்கும், நிலை அழுத்தத்திற்குமுள்ள வேறுபாடு 0·2 பார் ஆகும். நிலை அழுத்தம் (தனி) 1·01 பார். காற்றின் வெப்பநிலை 18°C. காற்றின் வேகத்தை (1) அமுக்கமற்றது (2) அமுக்கமுள்ளது எனக் கொண்டு கணக்கிடு.

10·12. காற்றின் அழுத்தமும் வெப்பநிலையும் தரைமட்டத்தில் முறையே 1 பார், 15°C ஆகும். 4000 மீ உயரத்தில் காற்றின் அழுத்தமும், வெப்பநிலையும் என்ன? வெப்ப மாற்றீடற்ற நிலையில் வெளிமண்டலம் உள்ளது எனக் கொள்க. அந்த உயரத்தில் சராசரி வெப்பநிலைச் சரிவு (temperature gradient) என்ன?

10·13. 60°C வெப்பநிலையிலுள்ள காற்றில் காற்று புழலில் (wind tunnel) ஒரு மாதிரி விமானத்தைச் சோதிக்க வேண்டியதிருக்கிறது. அசல் விமானம் 2000 கிமீ/மணி வேகத்தில் —20°C வெப்பநிலைக் காற்றில் பறக்கும். காற்று புழலில் என்ன காற்றின் திசைவேகம் என்னவாக இருக்கவேண்டும்?

10·14. தடையற்ற வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் தேக்க அடர்த்திக்கும், கட்டற்ற பாய்ச்சலிலுள்ள காற்றின் அடர்த்திக்குமுள்ள விகிதம்

$$\frac{\rho_s}{\rho_0}=\left(1+\frac{k-1}{2}M_0^2\right)^{\frac{1}{k-1}}$$

எனக் காட்டு.

10·15. ஒரு குவிந்த பாதையின் வழியாகக் காற்று பாய்கிறது. அக்குவிந்த பாதையில் தொண்டையின் பரப்பு 1·25 ச. செமீ. காற்றின் அழுத்தம் நுழைவாயிலில் 2 கிகிஎ/செமீ². காற்று வெளிமண்டலத்தில் கலக்கிறது. வெளிவரும் காற்றின் எடை என்ன ?

10·16. ஒரு மூடிய பெரிய தொட்டியிலிருந்து குவிந்த முனைவழியாக வளிமண்டலத்திற்கு வெளிவரும் காற்றின் திசைவேகம், பொருண்மைவீதம் முதலியவற்றைக் கீழ்க்கண்ட புள்ளிவிபரங்களுக்குக் கணக்கிடு. முனையின் பரப்பு 5 ச. செமீ. $p=5$ பார் (மானி). $t=20°C$.

10·17. அதிர்ச்சி அலையானது அழுத்தத் தொடர் நிகழ்ச்சியே என்ற கூற்றை விளக்குக.

10·18. குவிந்திருக்கும் பாதையில் அதிர்ச்சி அலை ஏற்படுகிறது. அதிர்ச்சிக்கு முன்புறம் $M=2·5$. $p=2$ பார்கள் (தனி), $t=20°C$, அதிர்ச்சிக்குப் பின்புறம் மாக் எண், அழுத்தம், வெப்பநிலை இவற்றை கணக்கிடு.

10·19. பெரிய பாத்திரத்தில் காற்றானது 10 பார்கள் (தனி) அழுத்தம், 30°C வெப்பநிலையிலிருந்து 1 செமீ² துளை வழியாக வெளிவருகிறது. வெளிவரும் உச்சப் பொருண்மைவீதம் என்ன ?

10·20. வெஞ்சுரிமானியின் வழி பாயும் காற்றின் பாயுவீதத்தைக் கீழ்க்கண்ட புள்ளிவிபரங்களுக்குக் கணக்கிடு. நுழைவு பரப்பு=50 செமீ²; தொண்டையின் பரப்பு=15 செமீ²; நுழைவு பாதையில் நிலை, தனி அழுத்தம்=5 கிகிஎ/செமீ²; வெப்பநிலை 50°C; தொண்டையில் வெப்பநிலை=45°C. பாயுவீதக் கெழு=0·98.

10·21. காற்றானது 250 மீ/வி வேகத்தில் 15°C வெப்பநிலையில் 0·3 மீ குழாயில் நுழைகிறது. அந்தக் குழாயின் வரம்பு நீளம் என்ன ?

10·22. 100 மிமீ குழாயில் பொறுத்தப்பட்டுள்ள 100 மிமீ × 30 மிமீ வெஞ்சுரிமானியால் காற்றின் பாயுவீதம் அளக்கப்படுகிறது. நுழைவு, தொண்டை அழுத்தங்கள் முறையே

0·7 பார் (மானி), 0·5 பார் (மானி) ஆகும். நுழைவு வெப்பநிலை 20°C. வெப்ப மாற்றீடற்ற முறையில் காற்றின் பாயுவீதத்தை எடையில் கணக்கிடு.

10·23. 100 மிமீ விட்டமுள்ள குழாயில் 40 மிமீ விட்டமுள்ள துளைமானியின் முன்புறம் அழுத்தம் வெப்பநிலை முறையே 5 பார்கள் (தனி), 20°C ஆகும். குறுக்கப் பரப்புப் பகுதியில் அழுத்தம் 3 பார்கள் (தனி) ஆகுமானல் காற்றின் பாயுவீதத்தை எடையில் கணக்கிடு.

11. கால்வாய் ஓட்டம்

11·1. முன்னுரை

திரவமானது (liquid) ஒரு இடத்திலிருந்து மற்ருெரு இடத்திற்குப் பாயும்போது அதன் ஒரு பாகம் வெளிமண்டலத்திற்குத் திறப்பாக இருக்குமாஞல் அப்படிப்பட்ட திரவ ஓட்டத்திற்குக் கால்வாய் ஓட்டமெனப் (open channel flow) பெயர். ஆனுல் ஒரு குழாயின் வழியாக ஓடும் திரவமானது அக்குழாயின் உட்புறப் பகுதிகளுடன் ஒட்டிக் கொண்டு ஓடுகிறது. குழாயில் திரவம் சிறிதளவு ஓடும்பொழுது திரவம் குழாயின் மேற்பரப்பைத் தொடாமல் ஓடுகிறது. அதன் புறப்பரப்பு வெளிமண்டலத்தோடு தொடர்புள்ளதாக இருக்கலாம் அல்லது வெளிமண்டல அழுத்தத்திற்கு மாறுபட்டதான வேறெந்த அழுத்தத்திலும் இருக்கலாம். இதற்கும் கால்வாய் ஓட்டமென்றே பெயர். குழாய் ஓட்டத்தைப் (pipe flow) போலன்றி வாய்க்கால் ஓட்டத்தில் நீரியற் சரிவானது (hydraulic gradient) நீர் மட்டத்தில் இருக்கும். ஆனுல் திரவம் வளைவான பகுதிகளில் ஓடுகின்ற இடங்களில் மட்டும் நீரியற்சரிவு நீர்மட்டத்திற்கு மேலோ அல்லது கீழோ இருக்கலாம்.

கால்வாய் ஓட்டத்தைப் பற்றிய பகுப்பாய்வு (analysis) குழாய் பாய்ம ஓட்டத்தை(fluid pipe flow)விடக் கடினமானது. கால்வாயின் குறுக்கு வெட்டில் ஏற்படும் மாறுதல்கள் சரிவு, சொர சொரப்பு (roughness), கடத்தப்படும் வண்டலின் (sediment) அளவு, கால்வாயின் வளைவு, நிலையற்ற தன்மை (unsteadiness) போன்றவை இக்கால்வாய் ஓட்டத்தில் வருவதால் இது பற்றிய படிப்பு மிகக் கடினமாகிறது. இதுபற்றிய படிப்பும் இதுகாறும் பெரும்பாலும் அனுபவரீதி(empirical)யாகவே இருந்து வருகிறது. ஆனுல் அண்மைக் காலத்தில் பாய்ம எந்திரவியலில் ஏற்பட்டுள்ள முன்னேற்றங்கள் இத்துறையினை பகுத்தறிவின் (rational) அடிப்படையில் அறிந்து கொள்ள உதவுகின்றன. இயற்கையான நீர்

ஓட்டங்களான ஆறுகள், சிற்ருறுகள் முதலியவற்றின் குறுக்கு வெட்டின் பரப்பு, சொரசொரப்பு, அமைப்பு, அடித்தளச் சரிவு (bed slope) முதலியன சீராக மாருததால் இத்தகைய திரவ ஓட்டங்களேப்பற்றி கொள்கை ரீதியாக ஆராய்வது கடினம். சீரானஅமைப்பில்லாத கால்வாய்களே பட்டகமற்ற(non-prismatic) கால்வாய்கள் என அழைக்கிருேம். நீர்ப்பாசனம், நீரைப் பகிர்ந் தளித்தல், மின்சாரக் கால்வாய்கள் போன்ற மனிதனுல் ஆக்கப் பட்ட கால்வாய்கள் சீரான அமைப்புடையனவாக இருக்குமாத லால் அவற்றை பட்டகக் (prismatic) கால்வாய்கள் என அழைக் கிருேம். இப்படிப்பட்ட வடிவுள்ள கால்வாய்களேப் பற்றியே இந்தப் பகுதியில் படிப்போம்.

பட்டகக் கால்வாய்கள் அடுக்குக் குறி (exponential) கால்வாய் கள், அடுக்குக் குறியற்ற (non-exponential) கால்வாய்கள் என இருவகைப்படும். அடுக்குக் குறிக் கால்வாய்களின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு, ஆழத்திற்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கும். நீண்ட சதுர (rectangular), பரவளேவு (parabolic), முக்கோண (triangular) கால்வாய்கள் இந்த வகையைச் சார்ந்தவையாகும். மற்ற வடிவங் களில் அமைந்தவை அடுக்குக் குறியற்ற வகைக் கால்வாய்களாகும்.

11·2. ஓட்டத்தின் வகைகள்

கால்வாய் பாய்ம ஓட்டத்தில் ரெயினுல்ஸ் எண் 500-க்கு குறைவாக இருக்குமானுல் அந்த ஓட்டமானது படல ஓட்டம் எனப்படும். கால்வாயின் அமைப்பிற்கேற்ப இந்த எண்ணின் மதிப்பு 600 வரை போகலாம். இந்த எண்ணில் பயன்படும் சிறப்பியல் நீள அளவிற்கு (characteristic length) கால்வாயின் நீரியலாரமே (hydraulic radius) உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது. நீரியலாரம் என்பது கால்வாயின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பிற்கும், ஈரச் சுற்றளவிற்கு(wetted perimeter)முள்ள விகிதமாகும். ஓட்டத் தின் மாறுபடும் மண்டலம் (transition region) ரெயினுல்ஸ் எண் 500-க்கும் 200-க்கும் இடைப்பட்டதாகக் கருதப்படுகிறது. ரெயினுல்ஸ் எண் 2000-க்கு அதிகமானுல் ஓட்டமானது கொந்த ளிப்பு (turbulent) ஓட்டமாகக் கருதப்படுகிறது. குழாய்ப் பாய்ம ஓட்டத்திலும் இந்தப் பாகுபாடு ரெயினுல்ஸ் எண் அடிப்படை யிலேயே வகுக்கப்படுகிறது என்பதை முன்னர் பார்த்தோம். குழாய் ஓட்டத்திற்கும் கால்வாய் ஓட்டத்திற்கும் இந்தப் பாகுபாடு எண் கிட்டத்தட்ட ஒன்ருக இருப்பது நோக்கற்பாலது.

கால்வாய் ஓட்டத்தை கால்வாயில் ஓடும் திரவத்தின் ஆழ வேறுபாட்டிற்கு ஏற்பவும் பாகுபடுத்தலாம். திரவ ஓட்டத் திசையில்

மொத்த ஆற்றல் கோடு கீழ்நோக்கிச் சாய்வாக இருக்கிறது. நன்ருக நிலைப்பெற்ற(steady) ஓட்டத்தில் ஆற்றலழிவானது அடித் தளச் சரிவால் சரிக்கட்டப்பட்டால் திரவ ஆழமானது எல்லா இடத்திலும் ஒரே சீராக (uniform) இருக்கும். இந்த ஆழத்திற்கு இயல்பான ஆழம் (normal depth) எனப் பெயர். ஒரு குறிப்பிட்ட ஓட்ட வீதத்திற்குக் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பும், இயல்பான ஆழமும் மாறிலிகளாகும். இத்தகைய ஓட்டத்தை சீரான ஓட்டம் (uniform flow)என்கிறேம். திரவமானது சீரான ஓட்டநிலையில் ஓடிக்கொண் டிருக்கும்போது திரவத்தின் மேல்மட்டக் கோடு, மொத்த ஆற்றல் கோடு, அடித்தளச் சரிவு முதலியன இணைக் கோடுகளாகும். ஓட்ட மானது நேரத்தால் மாறுபடாமல் இருக்குமானுல் நிலையான ஓட்டம் (steady flow) எனப் பெயர் பெறும். இந்தப் பகுதியில் நேரத்தால் மாறுபடாத ஓட்டத்தைப் பற்றியே படிப்போம்.

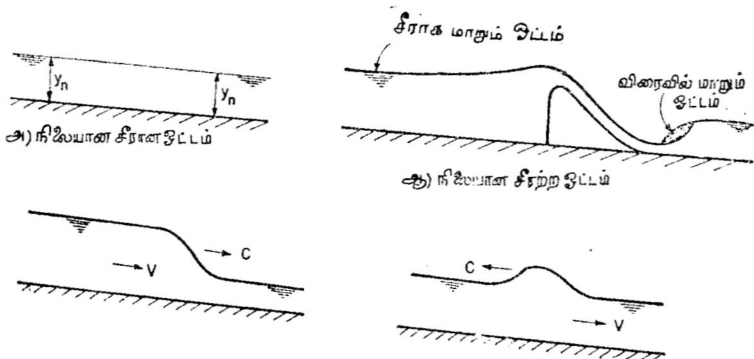
திரவத்தின் ஓட்டப் பாதையில் அதன் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு மாறுமானுல் அந்த ஓட்டத்தைச் சீரற்ற (non-uniform) ஓட்டம் என்கிறேம். ஆழமானது மிகக் குறைந்த தூரத்திற்குள் மாறுபடுமானுல் அந்த ஓட்டம் விரைவாக மாறுபடும் சீரற்ற ஓட்டம் (rapidly varied non-uniform flow) எனப்படும். ஆழ மாற்றம் மிகக் குறைவாகவும், அந்தக் குறைந்த அளவு ஆழமாற்ற மானது மிக நீண்ட தூரத்தில் படிப்படியாக மாறுவதாகவும் இருக்குமானுல் அதற்கு படிப்படியாக மாறும் சீரற்ற ஓட்டம் (gradually varied non-uniform flow) எனப் பெயர்.

திரவ ஓட்டத்தில் ஒரு இடத்தில் நீரின் திசைவேகமும், ஆழமும் காலத்தால் மாறுபடுமானுல் அந்த ஓட்டத்தை நிலையற்ற ஓட்டம் (unsteady flow) என்றும், திசைவேகமும் ஆழமும் காலத்தால் மாறுபடாமல் இருக்குமானுல் நிலையான ஓட்டமென்றும் வழங்கு கிறேம். ஆகவே, திரவ ஓட்டத்தைக் கால, இட வேறுபாடுகளின் அடிப்படையில் கீழ்க்கண்டவாறு பிரிக்கலாம்.

1. நிலையான சீரான ஓட்டம்,
2. நிலையற்ற சீரான ஓட்டம்,
3. நிலையான சீரற்ற ஓட்டம்,
   (அ) படிப்படியாக மாறும் சீரற்ற ஓட்டம்,
   (ஆ) விரைவில் மாறும் சீரற்ற ஓட்டம்,
4. நிலையற்ற சீரற்ற ஓட்டம்.

ஓட்டத்தின் மேற்கண்ட வகைகள் படம் 11·1-ல் காட்டப் பட்டுள்ளன. படம் (அ) நிலையான சீரான ஓட்டத்தைக்

குறிக்கும். இதில் எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்திலும் ஓட்ட ஆழமானது ஒரு குறிப்பிட்ட கால இடைவெளியில் மாறுது. நிலையற்ற சீரான ஓட்டத்தில் ஆழமானது திடீரென



படம் 11·1. கால்வாய் ஓட்டத்தின் வகைகள்

நேரத்திற்கு நேரம் மாறும். இந்த நிலை இயற்கையில் பொதுவாக நிகழ்வதில்லை. ஆய்வுக்கூடத்திலும் இந்த நிலையை உண்டாக்குதல் எளிதல்ல. இப்படிப்பட்ட இரண்டு வகை ஓட்டங்களுக்கும் திரவ மட்டச்சரிவு, மொத்த ஆற்றல் கோடு, அடித்தளச் சரிவு முதலியன இணையாக இருக்கும்; நீரியற் சரிவு திரவமட்டத்தோடு ஒன்றியிருக்கும்.

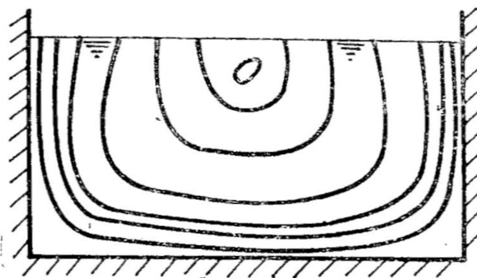
படம் (ஆ) நிலையான சீரற்ற ஓட்ட வகையைப் பற்றியது. இந்த வகைக்குச் சிறந்த எடுத்துக்காட்டு ஒரு அணைக்கட்டுக்கு முன்னால் நீரின் ஆழமானது படிப்படியாக மாறுவது ஆகும். அணையிலிருந்து வழியும் நீரின் ஆழம் குறுகிய தூரத்தில் வெகுவாக மாறுபடுகிறது. அணையின் கீழ்ப் பாகத்தில் ஏற்படும் நீரியற் குதிப்பிலும் (hydraulic jump) ஆழமாற்றம் திடீரென ஏற்படுகிறது. இவை விரைவாக மாறும் ஓட்டத்திற்கு நல்ல எடுத்துக்காட்டுகளாகும். படம் 11·1-(இ)-யும், படம் 11·1-(ஈ)-யும் முறையே வெள்ள அலை (flood wave) ஒரு கால்வாயில் கீழ்நோக்கி நகர்வதையும், நீரேற்றம் (bore) வாய்க்காலில் மேல்நோக்கி நகர்வதையும் குறிக்கின்றன. அவை நிலையற்ற சீரற்ற ஓட்டங்களுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

ஒரு சிறிய உலைவின் (disturbance) திசைவேக அடிப்படையிலும் திரவ ஓட்டத்தை வகைப்படுத்தலாம். உலைவுத் திசை வேகமானது அது தோன்றும் இடத்திலிருந்து ஓட்டத்திற்கு எதிராக

மேல்நோக்கிச் செல்லுமானல் அந்த ஓட்டமானது கீழ்ப்பட்ட மாறு நிலை ஓட்டம் (sub-critical flow) எனப்படும். இவை திரவ ஓட்டத்தின் ஓட்டத் திசையிலுள்ள (downstream) அமைப்புகளால் கட்டுப்படுத்தப்படுகின்றன. ஆனல் திரவ ஓட்டத்தின் திசைவேகம் அதிகமாக இருக்குமானல் எந்தச் சிறிய உலையும் திரவ ஓட்டத் திசையிலேயே பரவும்; எதிர்த்து மேல் நோக்கிப் பரவாது. இந்தத் திரவ ஓட்டமானது மேம்பட்ட மாறுநிலை ஓட்டம் (super critical flow) என அழைக்கப்படும். இவை திரவ ஓட்டத்திற்கு எதிர் திசையிலுள்ள அமைப்புகளால் கட்டுப்படுத்தப்படுகின்றன. திரவ ஓட்டமானது மேம்பட்ட மாறு நிலையுள்ளதா அல்லது கீழ்ப்பட்ட மாறுநிலையிலுள்ளதா என்பதை ஓடும் திரவத்தில் ஒரு கல்லை வீசி அதிலிருந்து உண்டாகும் அலைகள் கீழ்நோக்கி மட்டும் பரவுகின்றனவா அல்லது மேல் நோக்கியும் செல்கின்றனவா என்பதிலிருந்து எளிதில் தெரிந்து கொள்ளலாம். இவ்வாறு கல்வீச்சால் ஏற்படும் அலைவரிசைகள் அவை தோன்றும் இடத்திலிருந்து நகராமல் இருக்குமானல் அந்த ஓட்டத்தை மாறு நிலை (critical) ஓட்டமென்கிறேம்.

11·3. திசைவேகப் பகிர்வு (Velocity Distribution)

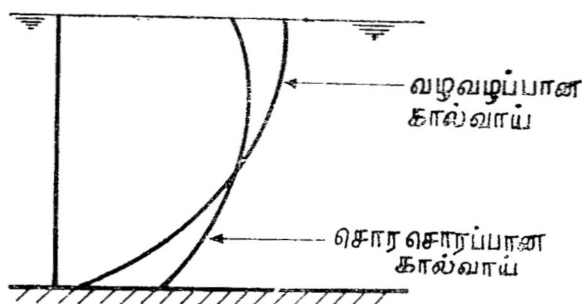
திசைவேகமானது நேரான வடிவமைப்புடைய கால்வாயில் கூட ஒரே சீராக இருப்பதில்லை. இயற்கையாகவுள்ள நீரோட்டங்



11·2. கால்வாயில் திசைவேக அமைப்பு

களில் திசைவேக அமைப்பானது கால்வாயின் சொரசொரப்பையும் மாறுபடும் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பையும், நேர்போக்கற்ற (non-linear) கால்வாய் அமைப்பையும் பொறுத்தது. ஒரு கால்வாயின் குறுக்குவெட்டிலுள்ள திசைவேக அமைப்பு படம் 11·2-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. குறைந்த ஆழமுள்ள கால்வாயில் அதன் ஓரங்களினுல் (boundaries) ஏற்படும் விளைவுகள் முக்கியமானவைகளாகும். ஆனல், ஆழமான கால்வாயில் ஓரங்களினுல்

ஏற்படும் சறுக்குப்பெயர்ச்சித் தகைவின் விளைவுகள் ஓரங்களிலுள்ள திரவத்தை மட்டும் பாதிக்கும். படம் 11·3-ல் காட்டியுள்ளபடி வழவழப்பான (smooth) கால்வாய்களில் மேல்மட்டத்திலிருந்து 0·05 முதல் 0·25 வரை ஆழமுள்ள இடத்தில் உச்ச திசைவேகம்



11·3. திசைவேகப் பகிர்வில் சொரசொரப்பின் விளைவுகள்

ஏற்படுகிறது. திசைவேகத்தை அறிய நீரின் மேல்மட்டத்திலிருந்து 0·2, 0·8 விகித ஆழத்தில் திசைவேகங்களை அளவுமானிகளால் அளந்தறிந்து அவற்றின் சராசரியைப் பயன்படுத்தும் பழக்கம் நமது நாட்டில் இருக்கிறது. அனுபவத்திலிருந்து இந்தச் சராசரி திசைவேகம் $\pm 2\%$-க்குத் திருத்தமான அளவைத் தருவதாகக் கருதப்படுகிறது.

இந்தப் பகுதியில் திசைவேகப் பகிர்வின் மாறுபாடுகள் எடுத்துக் கொள்ளப்படவில்லை. ஒரு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் திசைவேக மானது ஒரே அளவாக இருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது. ஆகவே, இந்த வகைப் பாகுபாட்டிற்கு ஒற்றைப் பரிமாணமுறை (one dimensional method) எனப் பெயர். ஆனால் உண்மையில் திசை வேகமானது ஒரு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் இடத்திற்கு இடம், முன்னர் விளக்கியுள்ளபடி, மாறுபடும். நாம் திசைவேக உயரத்தை $\frac{V^2}{2g}$ எனக் குறிக்கிறோம். இதன் பரிமாணம் நீளம் என்பதைக் காண்க. இங்கே V என்பது குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பின் சராசரித் திசைவேகத்தைக் குறிக்கும். ஆனால் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் பல இடங்களில் திசைவேகத்தின் மதிப்பு இந்தச் சராசரித் திசை வேகத்தைவிட அதிகமாகவோ அல்லது குறைவாகவோ இருக்கு மாதலால் உண்மையான திசைவேக உயரமானது $a\frac{V^2}{2g}$ எனக் குறிக்கப்படுகிறது. இதில் a என்பது ஆற்றல் கெழு (energy coefficient) ஆகும். ஆற்றல் கெழுவின் மதிப்பு வழவழப்பான

கால்வாய்களுக்கு 1·15 முதல் சொரசொரப்பான கால்வாய்களுக்கு 1·75 வரை மாறுபடும். இதே போல் உந்தக் கெழுவின் மதிப்பு 1·05 முதல் 1·25 வரை மாறுபடும்.

ஒரு நேரான வாய்க்காலில் ஒரு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் திசைவேகத்தின் மாறுபாடுகள் மிகச் சிறிதாகவே இருக்குமாதலால் ஆற்றல், உந்தக் கெழுக்களின் மதிப்பு ஒன்றுக்கு சிறிது அதிக மாகவே இருக்கும். ஆகவே நாம் அவற்றை பகுப்பாய்வுகளில் எடுத்துக்கொள்ள வேண்டியதில்லை.

குழாய் ஓட்டத்திற்கான கார்மன்-பிராண்டல் திசைவேகப் பகிர்வு சமன்பாட்டிலிருந்து கெலிகன் (Keulegan) வழவழப்பான கால்வாய்களுக்குக் கீழ்க்கண்டவாறு சராசரித் திசைவேகத்தைக் கண்டறிந்தார்.

$$V=\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}\left(3{\cdot}25+5{\cdot}75\log_{10}\frac{R\sqrt{\tau_0/\rho}}{\nu}\right) \qquad (11{\cdot}1\text{-அ})$$

சொர சொரப்பான கால்வாய்களுக்கு

$$V=\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}\left(6{\cdot}25+5{\cdot}75\log_{10}\frac{R}{k}\right) \qquad (11{\cdot}1\text{-ஆ})$$

பல ஆய்வாளர்கள் மேலேயுள்ள சமன்பாடுகள் சரியானவை களே என நிறுவியுள்ளனர். இயற்கைக் கால்வாய்களுக்கு இந்தச் சமன்பாடுகளிலுள்ள மாறிலிகளின் மதிப்பை அடிப்படை முறையி லிருந்து அறிந்தறிய வழிகள் இல்லாமையால் சோதனை முறைகள் மூலமே அறிந்தறிய வேண்டியிருக்கிறது.

11·4. அனுபவ வாய்பாடுகள் (Empirical Formulae)

கால்வாயில் சீராக ஓடும் திரவத்தின் சராசரித் திசைவேகத்தை சோதனைகள் மூலம் கால்வாயின் அமைப்புகளால் விளக்கப் பலர் முற்பட்டு சில அனுபவ வாய்பாடுகளைக் கண்டறிந்துள்ளனர். அவற்றில் சில முக்கியமானவற்றை கீழ்வரும் பகுதிகளில் காண்போம்.

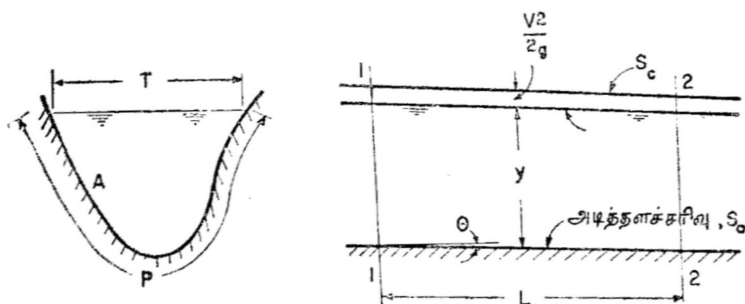
11·5. செசி வாய்ப்பாடு (Chezy Formula)

அந்தோணி செசி என்ற பிரான்சு நாட்டு பொறியியற் வல்லுநர் கி.பி. 1669-ம் ஆண்டு சேன் நதியில் நடத்திய பல பரிசோதனைகள் மூலம் கீழ்க்கண்ட வாய்ப்பாடைக் கண்டறிந்தார்.

$$V=C\sqrt{RS} \qquad (11{\cdot}2)$$

இதில் V என்பது சராசரித் திசைவேகத்தை மீட்டர்/வினடி யிலும், R என்பது நீரியலாரத்தை மீட்டரிலும், S என்பது ஆற்றல் கோட்டின் சரிவையும், C என்பது திரவ ஓட்டத்திற்கு எதிர்ப்பை யும் குறிக்கும். C என்பது செசி எண் (Chezy constant) என்று அழைக்கப்படுகிறது. அந்த எண் கால்வாயின் ஒப்புச் சொர சொரப்பு, ரெயினல்ஸ் எண், கால்வாயின் நேர்தன்மை இவற்றை பொறுத்தது. இந்த வாய்பாடை செசி சோதனைமுறை மூலம் அடைந்த போதிலும் மேற்கண்ட வாய்பாடை கொள்கை ரீதியிலும் அடையலாம்.

படம் 11·4 ஒரு நிலையான சீரான ஓட்டமுடைய A குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள P ஈரச் சுற்றளவுள்ள கால்வாய் ஓட்டத்தைக் காட்டுகிறது. அப்படத்தில் 1-1, 2-2 என்று குறிக்கப்பட்டுள்ள



படம் 11·4. சசி வாய்ப்பாடுக்கான விளக்கப்படம்

இடங்களுக்கிடையேயுள்ள தூரம் L ஆகும். இந்த ஓட்டமானது L பகுதியில் நிலைநாட்டப் பெற்று (established) நிலையானதாக இருக்குமானதால் 11 22 என்ற ஆட்சிபருமனின் (control volume) மேல் செயற்படும் தொகுபயன் விசைகளின் அளவு சுழியாக இருக்கும். அந்த ஆட்சிபருமனில் செயற்படும் வெளி விசைக ளானவை: 1-1, 2-2 பகுதிகளில் செயற்படும் நீர்நிலையியல் (hydrostatic) விசைகள், கால்வாயின் அடித்தளத்திலும் பக்கங் களிலுமுள்ள சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசை, திரவ எடையின் கூறு முதலியனவாகும். 1-1, 2-2 பகுதிகளில் நீர்நிலையியல் விசைகள் சமமான அளவிலும், எதிர் எதிர் திசைகளிலும் செயற்படுகின்றன. எனவே, அவை ஒன்றையொன்று அழித்துவிடுகின்றன. ஆகவே, ஆட்சிபருமனில் சறுக்குப் பெயர்ச்சிவிசைகளும், திரவ எடையுமே செயற்படுகின்றன. ஒரு அலகு பரப்பிலுள்ள சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசை τ_0-ஆக இருக்கட்டும். வாய்க்காலில் சாதாரணமாக நீரோட்டமானது கொந்தளிப்பு நிலையில் இருக்குமாதலாலும்,

அதன் ரெயினுல்ஸ் எண் மிக அதிகமாக இருக்குமாதலாலும் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு, திசைவேகத்தின் இருமடிக்கு (square) நேர்விகிதத்திலிருக்கும் எனக் கொள்ளலாம். ஆகவே, $\tau_0 = \frac{1}{8} f \rho V^2$. இதில் f என்பது உராய்வுக் கெழு (coefficient of friction) ஆகும்.

ஆட்சிபருமனில்மேல் செயல்படும் மொத்த உராய்வு விசை $= \frac{1}{8} f \rho V^2 PL$.

நிறையால் ஓட்டத்திசையிலுண்டாகும் ஈர்ப்பு விசையின் அளவு $= \rho g A L \sin \theta$.

ஆட்சிபருமனிலுள்ள தொகுபயன் விசை சுழியாக இருக்க வேண்டுமானல்,

$$\frac{1}{8} \rho V^2 f P L = \rho g A L S$$

$$\therefore \quad V^2 = \frac{8g}{f} \frac{A}{P} S$$

நீரியலாரம் $R = \frac{A}{P}$ ஆதலால்,

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f}} \sqrt{RS}$$

இதில் $\sqrt{\frac{8g}{f}} = C$ என்று குறிப்பிட்டால் செசி வாய்பாடு,

$$V = C\sqrt{RS}$$

மேலே கண்ட சமனி பரிமாணத்தில் ஒரு படித்தானதன்று. ஆகவே, செசி மாறிலியின் மதிப்பு அலகு முறைக்கேற்ப மாறுபடும்.

செசி எண்ணின் மதிப்பைப் பதித்தாய்வு முறையில் விளக்கப் பல முயற்சிகள் செய்யப்பட்டுள்ளன. அவற்றில் சிலவற்றைப் பார்ப்போம்.

11·6. காங்குலி-கட்டர் வாய்பாடு (Ganguillet-Kutter Formula)

காங்குலி, கட்டர் என்ற ஸ்விட்சர்லாந்து நாட்டைச் சேர்ந்த இரண்டு பொறியியல் வல்லுநர்கள் 1819-ம் ஆண்டு ஐரோப்பிய நாடுகளில் சேகரிக்கப்பட்டுள்ள புள்ளிவிபரங்களிலிருந்து கீழ்க் கண்ட சமனியை அடைந்தனர்.

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{\cdot}00155}{S}}{1 + \left(23 + \frac{0{\cdot}00155}{S}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}} \qquad (11{\cdot}13)$$

இதில் n கால்வாயின் சொரசொரப்பைக் குறிக்கும் எண்ணுகும். இதைக் கட்டர் n என்று வழங்குகிறுர்கள். பயன்படுத்துவதற்கு இந்தச் சமனி கடினமாகத் தோன்றினுலும் இதற்கு அட்டவணை களும் வரைபடங்களும் இருப்பதால் ஐரோப்பிய நாடுகளில் பெரிதும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இது நம்பகமானதே.

11·7. பெஸான் வாய்பாடு (Bazin Formula)

தான் நடத்திய பல சோதனைகளிலிருந்து பிரான்சு நாட்டு நீரியல் வல்லுநரான பெஸான் 1897-ம் ஆண்டு செசி மாறிலிக்கு கீழ்க்கண்ட விதியை விளக்கிஞர்.

$$C = \frac{87}{1+\frac{m}{\sqrt{R}}} \qquad (11\cdot4)$$

இதில் m என்பது கால்வாயின் சொரசொரப்பைக் குறிக்கும் எண்ணுகும். பெஸான் பல தரப்பட்ட வாய்க்கால்களுக்கு m-ன் மதிப்பைக் குறிப்பிட்டுள்ளார்.

11·8. பவல் வாய்பாடு (Powell Formula)

ஆய்வுக் கூடங்களிலுள்ள நீர்க்கால்களில் (flumes) நடத்திய சோதனைகளிலிருந்து பவல் என்ற அமெரிக்கர் 1950-ஆம் ஆண்டில் கீழ்க்கண்ட வாய்பாடை சொரசொரப்பான பக்கங்களை யுடைய கால்வாய்களில் கொந்தளிப்பு நிலையுடைய நீரோட்டங் களுக்குக் கண்டறிந்தார்.

$$C = 42 \log \frac{R}{\varepsilon} \qquad (11\cdot5\text{-அ})$$

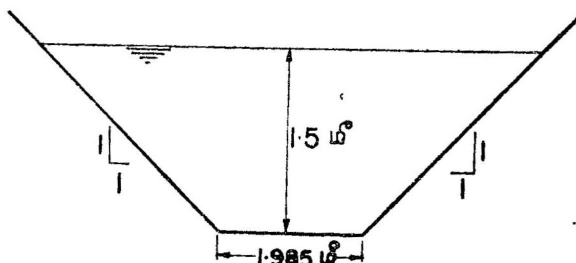
இதில் ε என்பது சொரசொரப்பைக் குறிக்கும். R என்பது ரெயினுல்ஸ் எண்ணுகும். ஆனுல் வழவழப்பான கால்வாய்களுக்கு,

$$C = 42 \log \frac{4R}{C} \qquad (11\cdot5\text{-ஆ})$$

என்ற தன்னுள்ளடக்குச்(implicit)சமனியைக் கண்டறிந்தார்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·1. அடித்தள அகலம் 1 மீ, பக்கச்சரிவு 1:1, அடித்தளச் சரிவு 1:1200 உள்ள சரிவகக் கால்வாய் (trapezoidal

canal) 6 க.மீ/வினாடி அளவு நீரை 1·5 மீ ஆழத்தில் கடத்துகிறது. இந்தக் கால்வாயின் செசி எண் மதிப்பு என்ன ?



$b=1$ மீ $Q=6$ க.மீ/வி $y=1\cdot5$ மீ

$m=1$ $S=\frac{1}{1200}$ $C=?$

$$A=3\cdot75 \text{ ச.மீ}$$

$$P=1+2\times1\cdot5\sqrt{2}=5\cdot24 \text{ மீ}$$

$$\therefore R=\frac{A}{P}=\frac{3\cdot75}{5\cdot24}=0\cdot715 \text{ மீ}$$

மேலும் $V=\frac{6}{3\cdot75}=1\cdot6$ மீ/வி

செசி வாய்பாடைப் பயன்படுத்தி,

$$1\cdot6=C\sqrt{0\cdot715\times\frac{1}{1200}}$$

$$\therefore C=64.$$

11·9. மானிங் வாய்பாடு (Manning Formula)

அயர்லாந்து நாட்டு நீரியல் வல்லுநரான மானிங் என்பார் 1889-ம் ஆண்டில், கீழேயுள்ள அமைப்பில் இன்று மானிங் வாய்பாடு என்று வழக்கத்திலிருக்கும் அமைப்பிற்குச் சிறிது மாறுபாடாக முதலில் திசை வேகத்திற்கும் கால்வாயின் அமைப்பிற்குமுள்ள தொடர்பைக் கண்டறிந்தார்.

$$V=\frac{R^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{N} \qquad (11\cdot6)$$

இதில் V என்பது திசைவேகம் மீட்டர்/வினாடி, R என்பது நீரியலாரம் மீட்டரில், S என்பது மொத்த ஆற்றல் கோட்டின்

சரிவு, N என்பது கால்வாயின் சொரசொரப்பு எண் ஆகும். இந்த வாய்பாடு பயன்படுத்துவதற்கு எளிதாக இருப்பதாலும் பொதுப் படையாகப் பொறியியல் பயன்பாட்டிற்கு சரியான விடைகளைத் தருவதாலும் பொறியாளர்களால் பெரிதும் பயன் படுத்தப்படு கிறது. செசி எண்ணிற்கும், மானிங் எண்ணிற்குமுள்ள தொடர்பை எளிதில் கண்டறியலாம்.

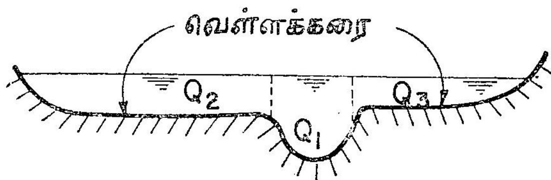
$$C = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{n}$$

மானிங் N-ன் மதிப்பு தெரியுமானால் அந்தக் கால்வாய்க்கு செசி மாறிலியின் மதிப்பை மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து தெரிந்து கொள்ளலாம். பலதரப்பட்ட கால்வாய்களுக்கு மானிங் எண் N-ன் மதிப்பு அட்டவணை 11·1-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

அட்டவணை 11·1

	கால்வாயின் விபரம்	N-ன் மதிப்பு
1.	பூசப்பட்ட தேனிரும்பு	0·014
2.	வளைவு அமைப்புடைய உலோகங்கள்	0·024
3.	கண்ணாடி	0·010
4.	கான்கிரீட் வடிகால்கள்	0·013
5.	செங்கல் வேலைப்பாடு சிமெண்ட் பூச்சுடன்	0·015
6.	சாதாரண கல் வேலைப்பாடு சிமெண்ட் பூச்சுடன்	0·025
7.	மண் கால்வாய்கள், சுத்தமானதும் நேரானதும்	0·022
8.	மண் கால்வாய்கள், களைகளுடன்	0·03
9.	கல் அடித்தளமும், களைப் பக்கங்களுமுடைய கால்வாய்	0·035
10.	கூழாங்கல் அடித்தளமும் சுத்தமான பக்கங்களுமுள்ள கால்வாய்	0·040
11.	பாறையுடைய கால்வாய்	0·040
12.	அதிக களையுடைய கால்வாய் (களை உயரம் நீரின் ஆழத்தைவிட அதிகம்)	0·10
13.	சிற்றோடைகள், நேரானவை	0·030
14.	சிற்றோடைகள், கல்லும் களையும்	0·035
15.	காட்டாறுகள், கல்லும் மண்ணும்	0·040
16.	காட்டாறுகள், கல்லும் பாறையும்	0·050
17.	அடர்ந்த நாணல் வழிச் செல்லும் ஆறுகள்	0·150
18.	வெள்ள காலத்தில் மரங்களின் வழிச்செல்லும் ஆறுகள்	0·120
19.	நதிகள்	0·025 முதல் 0·05 வரை

N-ன் மதிப்பு ஒப்புச் சொரசொரப்பையும், வண்டலின் அளவையும், நீரோட்டத்தின் நேரான பாதையையும், இடர் பாடுகளையும், ஆழத்தையும் பொறுத்தது. இவற்றின் ஒவ்வொன் றிற்கும் தனித்தனியாக N-ன் மதிப்பை ஊகித்தறிந்து பின்னர் மொத்தமாகக் கூட்டி ஒரு கால்வாயின் N-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட பல முயற்சிகள் செய்யப்பட்டுள்ளன. ஆனால் கடைசியில் சரியான மதிப்பை அடைய முடியாததால் அம்முயற்சிகள் கைவிடப்பட்டன.



படம் 11·5. நதியின் குறுக்கு வெட்டு அமைப்பு

மானிங் எண் ஆற்றில் மத்திய பகுதிக்கு ஒரு மதிப்பாகவும், வெள்ள காலத்தில் ஆறுனது வெள்ளக் கரைகளில் ஓடும்போது கரைப் பகுதிகளில் வேருகவும் இருக்கும். கரைப்பகுதியில் ஆழம் குறைவாக இருக்குமாதலால் ஒப்புச் சொரசொரப்பு அதிகமாக இருக்கும். ஆகவே, மானிங் எண்ணின் மதிப்பும் அதிகமாக இருக்கும். எனவே, வெள்ளமுடைய ஆற்றை இருபெரும் பகுதிகளாகப் பிரித்து தனித்தனியாக வெள்ள ஓட்டத்தைக் கணக்கிட்டு பின்னர் கூட்டிக்கொள்ள வேண்டும். ஆற்றின் மத்திய பகுதியில் பாயுவீதம் (discharge) Q_1 ஆகவும், ஆற்றின் இருகரைகளிலும் Q_2, Q_3-ஆகவும் இருந்தால், ஆற்றின் மொத்தப் பாயுவீதம் Q-ஆனது படம் 11·5-ல் உள்ளபடி

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3$$

மாதிரிக் கணக்கு 11·2. 0·2 மீ அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாய் 10,000-க்கு 4 சரிவு உடைத்து. அதிலோடும் நீரின் ஆழம் 0·3 மீ ஆனல் பாயுவீதம் என்ன? மானிங் எண் $=0·011$.

$b=0·2$ மீ $\qquad d=0·3$ மீ

$S=\frac{4}{10000} \qquad N=0·011$

மானிங் சமனி, $V=\frac{R^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{N}$

$$R=\frac{A}{P}=\frac{0·2\times0·3}{0·8}=0·075 \text{ மீ}$$

$$\therefore V=\frac{0{\cdot}075^{\frac{2}{3}}}{0{\cdot}011}\left(\frac{4}{10000}\right)^{\frac{1}{2}}=0{\cdot}0694 \text{ மீ/வி}$$

$$Q=0{\cdot}2\times0{\cdot}3\times0{\cdot}694$$
$$=4{\cdot}164\times10^{-3} \text{ க.மீ/வி.}$$
$$=4{\cdot}164 \text{ லி/வி}$$

11·10. பாவ்லேஸ்கி வாய்பாடு (Pavlousky Formula)

பாவ்லேஸ்கி என்ற ரஷ்யப் பொறியாளர் 1925-ஆம் ஆண்டில் கீழ்க்கண்ட வாய்பாடைக் கண்டறிந்தார்.

$$V=\frac{R^y}{N}\sqrt{RS} \tag{11·7}$$

இதில் $y=2{\cdot}5\sqrt{N}-0{\cdot}13-0{\cdot}75R\ (\sqrt{N}-0{\cdot}10)$ ஆகும்.

R நீரியலாரத்தை மீட்டரிலும், V திசைவேகத்தை மீட்டர்/விநாடியிலும், N என்பது மானிங் எண்ணையும் குறிக்கும். இந்த வாய்பாடு R-ன் மதிப்பு 0·1 முதல் 3·0 மீ வரையிலும் N-ன் மதிப்பு 0·011 முதல் 0·040 மீ வரையிலும் உள்ளவற்றிற்குச் செல்லுபடியாகும். பாவ்லேஸ்கி, y-ன் மதிப்பை அறிய வேறு இரு எளிய சமனிகளையும் பயன்படுத்தலாம் எனக் கூறினார்.

$$y=1{\cdot}5\sqrt{N} \qquad R<1{\cdot}0 \text{ மீ}$$
$$y=1{\cdot}3\sqrt{N} \qquad R>1{\cdot}0 \text{ மீ}$$

மானிங் தன்னுடைய வாய்பாடிலுள்ள அடுக்குக் குறியின் (exponent) மதிப்பு ஒரு மாறிலியல்ல என்பதை அறிந்திருந்தார். அடுக்குக் குறியின் மதிப்பு 0·65 முதல் 0·84 வரை மாறுபடலாம் என்பதையும் கண்டறிந்தார். இருந்த போதிலும் தன் சோதனைகளிலிருந்து $\frac{2}{3}$ என்னும் மதிப்பை பொதுவாகப் பயன்படுத்தலாம் என அறிந்து அறிவித்தார். ஆகவே, இன்றும். அதுவே பழக்கத்திலிருக்கிறது. சிலர் $\frac{3}{4}$ என்ற மதிப்பையும் பயன்படுத்துகிறார்கள்.

11·11. பகுதி அனுபவ வாய்பாடு (Semi-empirical Formula)

கார்மன்-பிராண்டலுடைய திசைவேக அமைப்பின் அடிப்படையில் ஒரு கால்வாயின் பல இடங்களிலுள்ள திசைவேகத்தையும் கணக்கிடலாம். வெகு அகலமான வாய்க்கால்களில் ஒரு இடத்திலுள்ள திசைவேகத்தை அறிய கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தலாம்.

$$\frac{v-V}{\sqrt{\tau_0/\rho}}=4\sqrt{2}\log_{10}\frac{y}{y_n}+2{\cdot}47 \tag{11·8}$$

இதில் v எந்த ஒரு இடத்திலுள்ள திசைவேகத்தையும் V சராசரித் திசைவேகத்தையும், τ_0 அடித்தளச் சறுக்குப் பெயர்ச்சியையும், y அடித்தளத்திலிருந்து செங்குத்துயரத்தையும் குறிக்கும்.

11·12. கால்வாய்களின் சிறந்த நீரியற் குறுக்கு வெட்டமைப்புகள்

கால்வாய்கள் கட்ட ஏற்படும் செலவு பெயர்த்தெடுக்கப்படும் மண்ணின் அளவையும், அடித்தளம், பக்கங்கள் ஆகியவற்றின் மேற்பூச்சுச் (lining) செலவையும் பொறுத்தது. மொத்தச் செலவு குறைய வேண்டுமானால் இந்த இரண்டின் தனித்தனி மதிப்பும் குறைவாக இருக்க வேண்டும். ஆகவே, கால்வாயின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பும், ஈரச் சுற்றளவும் குறைவாக இருக்க வேண்டும். மானிங் வாய்பாடிலிருந்து,

$$A=\left(\frac{QN}{S^{\frac{1}{2}}}\right)^{\frac{3}{5}} P^{\frac{2}{5}}$$

என்று கண்டறியலாம். ஆகவே, ஒரு குறிப்பிட்ட அடித்தளச் சரிவிற்கும், சொரசொரப்பிற்கும், நீரின் பாயுவீதத்திற்கும் ஒரு கால்வாயின் ஈரச் சுற்றளவு குறைவாக இருக்கவேண்டுமானால் அதன் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பும் குறைவாக இருக்கவேண்டுமெனத் தெரிகிறது. இதன் அடிப்படையில் பலவகைக் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு அமைப்புகளையுடைய கால்வாய்களுக்கு ஏற்ற சிறந்த நீரியற் குறுக்கமைப்புகள் கண்டறியப்பட்டுள்ளன.

11·13. நீண்ட சதுரக் கால்வாய்கள் (Rectangular Canals)

ஒரு குறிப்பிட்ட வீதத்தில் நீரைக் கடத்துமாறு அமைக்கப் படும் நீண்ட சதுரக் கால்வாயின் செலவு குறைவாக இருக்க வேண்டுமானால் அதன் ஈரச் சுற்றளவு முடிந்த அளவு சிறிதாக இருக்க வேண்டும். சரிவும், சொரசொரப்பும் மாறாமலிருந்தால் வாய்க்காலின் சராசரித் திசைவேகம் ஒரே மாதிரியாக இருக்கும். எனவே, குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு A-யும் மாறிலியாகும்.

$$P=b+2y$$

$$=\frac{A}{y}+2y$$

P-ஐ y-யால் வகையிட்டு $\frac{dP}{dy}$-ஐசுழிக்குச் சமமாக்கினால்,

$$\frac{dP}{dy}=-\frac{A}{y^2}+2=0$$

$\frac{d^2p}{dy^2}$ நேர் மதிப்புடையது. ஆதலால் P-ன் குறைந்த மதிப்பிற்கு,

$$A=2y^2$$

ஆக இருக்க வேண்டும். ஆகவே,

$$b=2y \tag{11·9}$$

மாதிரிக் கணக்கு 11·3. 5 மீ அகலமுள்ள பூசப்பட்ட நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் 1 மீ ஆழத்தில் 10 க.மீ/வி அளவில் நீர் ஓடுகிறது. அந்தக் கால்வாயின் அடித்தளச் சரிவு 1:500 ஆனுல் மானிங் எண்ணைக் கணக்கிடு. ஈரச் சுற்றளவில் உண்டாகும் சராசரி சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவையும் கணக்கிடு.

$b=5$ மீ $\qquad Q=10$ க.மீ/வி $\qquad d=1$ மீ

$S=\frac{1}{500} \qquad A=5$ ச.மீ

இப்போது

$$P=7 \text{ மீ} \qquad \therefore R=\tfrac{5}{7}=0{\cdot}714 \text{ மீ}$$

$$V=\frac{10}{5}=2 \text{ மீ/வி}$$

மானிங் சமனியைப் பயன்படுத்தி,

$$2=\frac{0{\cdot}714^{\frac{2}{3}}}{N}\left(\frac{1}{500}\right)^{\frac{1}{2}}$$

ஆகவே $\qquad N=0{\cdot}0177$

சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு $\tau=wRS=9810\times0{\cdot}714\times\frac{1}{500}$

$$=14 \text{ கிநி/மீ}^2.$$

11·14. சரிவகக் கால்வாய் (Trapezoidal Canal)

ஒரு குறிப்பிட்ட திசைவேகத்திற்கு, குறிப்பிட்ட நீரோட்டவீத அளவிற்குக் கொடுக்கப்பட்டுள்ள கால்வாயின் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு மாறிலியாகும். (படம் 116·.)

$$A=by+my^2$$

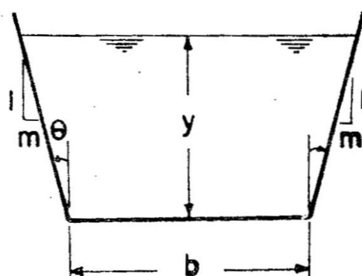
$$P=b+2y\sqrt{1+m^2}$$

இப்போது

$$b=\frac{A}{y}-my$$

ஆகவே,

$$P=\frac{A}{y}-my+2y\sqrt{1+m^2}$$



படம் 11·6. சரிவகக் கால்வாயின் குறுக்குவெட்டுத் தோற்றம்

P-ன் குறைந்த மதிப்பைக் காண *P*-யை *y*-ஆல் வகையிட்டு $\frac{dP}{dy}$-ஐச் சுழிக்கு சமமாக்க வேண்டும். $\frac{d^2P}{dy^2}$-ன் மதிப்பு நேர் மதிப்புடையது என அறிந்து கொண்டால்,

$$\frac{dP}{dy}=-\frac{A}{y^2}-m+2\sqrt{1+m^2}=0$$

$$\frac{A}{y^2}+m=2\sqrt{1+m^2}$$

இதில் *A*-ன் மதிப்பை இட்டால்,

$$\frac{b+2my}{2}=y\sqrt{1+m^2} \qquad (11{\cdot}10)$$

இப்போது *y*-யை மாறிலியாக வைத்துக்கொண்டு *P*-யை *m*-ஆல் வகையிட்டால்,

$$\frac{dP}{dm}=-y+\frac{2y}{2\sqrt{1+m^2}}\times 2m=0$$

ஆகவே,

$$\frac{2m}{\sqrt{1+m^2}}=1$$

m-ன் மதிப்பு

$$m=\frac{1}{\sqrt{3}} \quad \text{ஆகவே, } \theta=30^\circ \qquad (11{\cdot}11)$$

எனவே, *m*-ன் மதிப்பின் உதவியால் $b=\frac{P}{3}$ எனக் கணக்கிடலாம்.

ஆகவே, கால்வாயின் பக்கங்களும் இதே மதிப்புடையதாக இருக்க வேண்டும் என அறியலாம். இதிலிருந்து சிறந்த சரிவகக் குறுக்கமைப்பு அறுகோணம் (hexagon) என அறியலாம்.

பெரும்பாலான கால்வாய்களின் பக்கச் சரிவு வேறு பல காரணங்களால் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. ஆகவே, கால்வாயின் சிறந்த அமைப்பை அடைய முதலில் வருவித்த சமன்பாட்டைப் (11·10) பயன்படுத்துகிறோம்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·4. 1 பங்கு கிடைமட்டமும் 2 பங்கு செங்குத்துமுடைய பக்கங்களைக் கொண்ட சரிவகக் கால்வாயின் மற்ற அமைப்புகளின் அளவுகளை கீழ்க்கண்டவற்றிலிருந்து கணிக்கவும். நீரின் பாயுவீதம் 50 க.மீ/வி. சராசரித் திசைவேகம் 1 மீ/வி. செசி எண்ணின் மதிப்பு 50. கால்வாயின் அடித்தளச் சரிவு யாது ?

$m=\frac{1}{2}$ $V=1$ மீ/வி

$Q=50$ க.மீ/வி $C=50$

சிறந்த நீரியற் குறுக்கமைப்பிற்கு,

$$b+2my=2y\sqrt{m^2+1}$$

$$b+y=2y\sqrt{0{\cdot}5^2+1}$$

ஆகவே, $b=1{\cdot}24y$ ....(அ)

தேவையான குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு,

$$A=\frac{Q}{A}=\frac{50}{}=50 \text{ ச.மீ}$$

ஆகவே, $(b+\frac{1}{2}y)y=50$ ....(ஆ)

சமன்பாடுகள் (அ), (ஆ)-விலிருந்து,

$$y=5{\cdot}36 \text{ மீ}$$

$$b=6{\cdot}65 \text{ மீ}$$

செசி வாய்பாட்டைப் பயன்படுத்தி,

$$1=50\sqrt{\frac{5{\cdot}36}{2}\times S}$$

ஆகவே, $S=\frac{1}{6700}$

மாதிரிக் கணக்கு 11·5. கீழ்க்கண்ட அளவுகளுக்குச் சிறந்த சரிவகக் கால்வாய் அமைப்பைக் கணக்கிடவும். பக்கச் சரிவு 2:1 ($m=\frac{1}{2}$); நீரின் பாயுவீதம் 5·6 மீ^{3}/வி; திசைவேகம் 1·5 மீ/வி. இந்த அமைப்பை 1·2 மீ ஆழமும் 3 மீ அகலமுமுள்ள நீண்ட சதுர கால் வாய்க்குப் பதில் உபயோகித்தால் 1 கிமீ தூரத்தில் மிச்சப்படும் திறனைக் கணக்கிடவும். செசி எண் = 55.

$m=\frac{1}{2}$ $\qquad\qquad V=1\cdot5$ மீ/வி

$Q=5\cdot6$ க·மீ/வி

சிறந்த சரிவகக் கால்வாய் அமைப்பிற்கு,

$$b+2\times\tfrac{1}{2}\times y=2y\sqrt{0\cdot5^2+1}$$

ஆகவே,
$$b-1\cdot24y=0 \qquad \ldots\ldots(\text{அ})$$

$$A=\left(b+\frac{y}{2}\right)\times d=\frac{5\cdot6}{1\cdot5}=3\cdot73$$

ஆகவே,
$$\left(b+\frac{y}{2}\right)y=3\cdot73 \qquad \ldots\ldots(\text{ஆ})$$

சமன்பாடுகள் (அ), (ஆ)-விலிருந்து,

$$y=1\cdot46 \text{ மீ}$$
$$b=1\cdot81 \text{ மீ}$$
$$R=\frac{1\cdot46}{2}=0\cdot73 \text{ மீ}$$

செசி வாய்பாட்டைப் பயன்படுத்தி,

$$1\cdot5=55\sqrt{0\cdot73\times S}$$

ஆகவே,
$$S=\frac{1}{978}$$

நீண்ட சதுரக் கால்வாயில்,

$$V=\frac{5\cdot6}{1\cdot2\times3}=1\cdot55 \text{ மீ/வி} \qquad R=\frac{3\cdot6}{5\cdot4}=0\cdot667 \text{ மீ}$$

செசி வாய்பாட்டைப் பயன்படுத்தி,

$$1\cdot55=55\sqrt{0\cdot667\times S}$$

ஆகவே,
$$S=\frac{1}{838}$$

எனவே, நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் 1 கிமீ-க்கு அதிகப்படியான இழப்பு

$$=\left(\frac{1}{838}-\frac{1}{978}\right)\times 1000$$

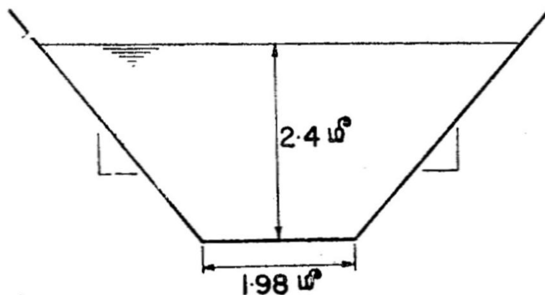
$$=0{\cdot}173 \text{ மீ}$$

ஆகவே, சரிவகக் கால்வாயைக் கையாளுவதால் உண்டாகும்

லாபம் $= 5{\cdot}6\times 9{\cdot}81\times 0{\cdot}173$

$=9{\cdot}5$ கிவா

மாதிரிக் கணக்கு 11·6. சிறந்த நீரியலமைப்பையுடைய சரிவகக் கால்வாய் 2·4 மீ ஆழத்திலும், 1:2640 அடித்தளச் சரிவிலும் உச்ச பாயுவீதத்தை யுடையதாயிருக்கிறது. அந்தக் கால்வாயின் பக்கச் சரிவு 1:1 ஆனால், அதன் அடித்தள அளவையும், பாயுவீதத்தையும் கணக்கிடு.



$y=2{\cdot}4$ மீ $\qquad m=1$

$S=\dfrac{1}{2640}$

சிறந்த சரிவக அமைப்பிற்கு,

$$b+2my=2y\sqrt{m^2+1}$$

$$b+2\times 1\times 2{\cdot}4=2\times 2{\cdot}4\sqrt{1^2+1}$$

ஆகவே, $\qquad b=1{\cdot}985$ மீ

சிறந்த சரிவக அமைப்பில் $R=y/2$ என நிரூபிக்கலாம். எனவே,

$$R=\frac{y}{2}=\frac{2{\cdot}4}{2}=1{\cdot}2 \text{ மீ}$$

$$A=\left(\frac{1{\cdot}985+6{\cdot}785}{2}\right)\times 2{\cdot}24=10{\cdot}52 \text{ மீ}^2$$

மானிங் எண்ணின் மதிப்பு 0·02 எனக் கொண்டு, மானிங் சமனியைப் பயன்படுத்திஞல்,

$$V=\frac{R^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{N}=\frac{1\cdot2^{\frac{2}{3}}}{0\cdot02}\left(\frac{1}{2640}\right)^{\frac{1}{2}}=1\cdot1 \text{ மீ/வி}$$

ஆகவே, பாயுவீதம் $Q=A\times V=10\cdot52\times1\cdot1=11\cdot57$ மீ² /வி.

மாதிரிக் கணக்கு 11·7. ஒரு பூசப்பட்ட சரிவகக் கால்வாயில் பாசி படர்வதால் ஏற்படும் தன்மையை ஆராய எடுக்கப்பட்ட புள்ளி விபரங்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அடித்தள அகலம் = 1 மீ; பக்கச் சரிவு = 1:1; நீரின் மேற்பரப்பின் அகலம் = 2 மீ; $Q=1\cdot5$ மீ³/வி; ஒரு இடத்தில் மட்டம் 875·13; மற்ருெரு இடத்தில் மட்டம் 863·47; இரண்டு இடங்களுக்கும் இடைப்பட்ட தூரம் 2 கிமீ. மானிங் எண்ணின் மதிப்பைக் காண்க.

$b=1$ மீ $\qquad Q=1\cdot5$ மீ³/வி

$m=1$ $\qquad T=2$ மீ

நீரின் மேல்மட்ட அகலம் 2 மீ ஆதலால் ஆழம் 0·5 மீ ஆகும்.

ஆகவே,

$$A=\left(\frac{1+2}{2}\right)\times0\cdot5=0\cdot75 \text{ மீ}^2$$

$$V=\frac{1\cdot5}{0\cdot75}=2 \text{ மீ/வி}$$

இரு இடங்களுக்கும் இடையே ஓடும் நீரானது ஒரே சீரானது என்று எடுத்துக்கொண்டு,

$$S=\frac{875\cdot13-863\cdot47}{2000}=\frac{11\cdot66}{2000}$$

$$P=1+2\sqrt{0\cdot5}=2\cdot414 \text{ மீ}$$

$$R=\frac{0\cdot75}{2\cdot414}=0\cdot311 \text{ மீ}$$

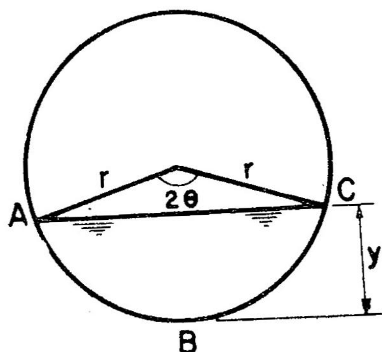
மானிங் வாய்பாடைப் பயன்படுத்தி,

$$2=\frac{0\cdot311^{\frac{2}{3}}}{N}\left(\frac{11\cdot66}{2000}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore\ N=0\cdot0175$$

11·15. வட்டக் குறுக்கமைப்பு (Circular Section)

படம் 11-7ல் உள்ள ABC என்ற பரப்பை எடுத்துக் கொண்டால்,



படம் 11·7. வட்டக்கால்வாயின் குறுக்குவெட்டுத் தோற்றம்

$$A = \frac{r^2}{2}\ (2\theta - \sin 2\theta)$$

$$P = r\ 2\theta = 2\theta\sqrt{\frac{2A}{2\theta - \sin 2\theta}}$$

சிறந்த நீரியற் குறுக்கமைப்பை அடைய

$$\frac{dP}{d\theta} = \sqrt{2A}\left\{\frac{2}{\sqrt{2\theta - \sin 2\theta}} - \frac{1}{2}\,\frac{2 - 2\cos 2\theta}{(2\theta - \sin 2\theta)^{\frac{3}{2}}}\right\} = 0$$

ஆகவே $\theta = \frac{\pi}{2}$

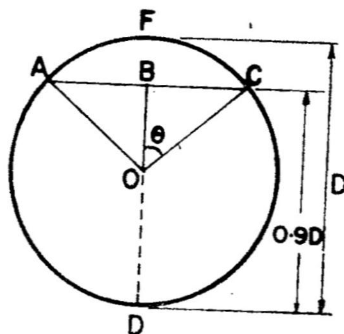
அரை வட்டமே சிறந்த அமைப்பாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·8. ஒரு சாக்கடைக் குழாய் 0·0001 சரிவில் அமைக்கப்பட்டுள்ளது. அதில் விட்டத்தின் அளவிற்கு 0·9 ஆழத்தில் நீர் ஓடும் போது அந்த நீரின் பாயுவீதம் 3 மீ³/வி, அப்படியானல் விட்டம் என்ன ?

$S = 0{\cdot}0001$ $y = 0{\cdot}9D$

$Q = 3$ கமீ/வி

படத்திலிருந்து,



$$\theta = \cos^{-1}\frac{0{\cdot}4}{0{\cdot}3} = 36°52'$$

$$R = \frac{ABCD \text{ என்ற பரப்பு}}{ADC \text{ என்ற நாண்}}$$

$$ABCD\text{-யின் பரப்பு} = \frac{\pi d^2}{2} \times \frac{286°16'}{360°} + \tfrac{1}{2} \times (0{\cdot}5D)^2 \sin 73°44'$$

$$= 0{\cdot}744D^2$$

$$ADC \text{ என்ற நாணின் நீளம்} = \pi D \times \frac{286°16'}{360°} = 2{\cdot}5D$$

ஆகவே,
$$R = \frac{0{\cdot}744D^2}{2{\cdot}5D} = 0{\cdot}298\,D$$

N-மதிப்பு 0·014 எனக்கொண்டு, மானிங் சமன்பாட்டைப் பயன் படுத்தினல்,

$$Q = \frac{A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{N}$$

$$3 = \frac{0{\cdot}744D^2 \times (0{\cdot}298D)^{\frac{2}{3}}}{0{\cdot}014} \times \left(\frac{1}{10000}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$\therefore D = 2{\cdot}59$ மீ.

11·16. வட்டக் குழாயில் பகுதியளவு திரவம் ஓடும்போது

வட்டக் குழாயில் திரவமானது பகுதியளவு ஓடும்போது சராசரித் திசைவேகத்தை எந்த θ, y-ன் மதிப்பிற்கும் மானிங் வாய்பாடால் விளக்கலாம்.

படம் 11·7-லிருந்து,

$$V=\left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}}\frac{S^{\frac{1}{2}}}{N}=\left\{\frac{r}{2}\left(\frac{2\theta-\sin 2\theta}{2\theta}\right)\right\}^{\frac{2}{3}}\frac{S^{\frac{1}{2}}}{N}$$

ஒரு குறிப்பிட்ட கால்வாயில் $\frac{A}{P}$ -யின் மதிப்பு அதிகமாக இருந்தால் திசைவேகமும் அதிகமாக இருக்கும். ஆகவே, பெரும திசை வேகத்திற்கான நிபந்தனையை அறிய,

$$\frac{d}{d\theta}\left(\frac{A}{P}\right)=0 \text{ மேலும் } \frac{d^2}{d\theta^2}\left(\frac{A}{P}\right)=1$$

அதாவது

$$\frac{d}{d\theta}\left\{\frac{r}{2}\left(\frac{2\theta-\sin 2\theta}{2\theta}\right)\right\}=\frac{2\theta-\sin 2\theta}{2\theta^2}-\frac{\theta\,(2-2\cos 2\theta)}{2\theta}=0$$

எனவே, $\tan 2\theta=2\theta$

ஆகவே, $\theta=128°45'$

மேலும், $\frac{y}{r}=\frac{r(1-\cos\theta)}{r}=(1+0{\cdot}62)=1{\cdot}62$

ஆகவே, நீரோட்டத்தின் ஆழம் $0{\cdot}81D$ -ஆக இருக்கும்போது திசைவேகம் அதிகப்படியான மதிப்புடையதாக இருக்கும்.

இதே போல் வட்டவடிவக் கால்வாய் வழியாக ஓடும் திரவ அளவுவீதம் அதிகமாக இருக்க வேண்டுமானல், $\left(\frac{A^5}{P^2}\right)^{\frac{1}{3}}$ -ன் மதிப்பு அதிகப் படித்தானதாக இருக்கவேண்டும்.

$$\frac{d}{d\theta}\left(\frac{A^5}{P^2}\right)=0$$

$$\frac{5A^4}{P^2}\frac{dA}{dP}-2\frac{A^5}{P^3}\frac{dP}{d\theta}=0$$

இப்போது

$$5\frac{dA}{dP}-2\frac{A}{P}\frac{dP}{d\theta}=0$$

$$\frac{dA}{dP}=\frac{r^2}{2}(2-2\cos 2\theta)=r^2\,(1-\cos 2\theta)$$

மேலும் $\frac{dP}{d\theta}=2r$

ஆகவே,

$$5r^2(1-\cos 2\theta)-\frac{2r^2}{2}\left(\frac{2\theta-\sin 2\theta}{r\,2\theta}\right)2r=0$$

$$5\theta\,(1-\cos 2\theta)-(2\theta-\sin 2\theta)=0$$

$$3\theta-5\theta\cos 2\theta+\sin 2\theta=0$$

$$\sin 2\theta=\theta\,(3-5\cos 2\theta)$$

$$\therefore\quad \theta=104^\circ$$

ஆகவே, பெரும பாய்வீதத்திற்கு ஆழமானது,

$$y=r+r\cos(\pi-104^\circ)$$

$$y\simeq 1{\cdot}89\,r$$

இந்த நிபந்தனைக்கு நீரியலாரம் $0{\cdot}58r$ எனக் காண்பிக்கலாம். கால்வாயின் ஒப்புச் சொரசொரப்பின் பங்கு முக்கியமாதலால் அதையும் நாம் எடுத்துக்கொண்டால் திரவ பாயுவீதம் 10 சத வீதம் குறையும்.

பொதுச் சுகாதாரத்திற்காகப் பயன்படுத்தப்படும் கால்வாய் களில் நீரின் பாயுவீதம் மாறினாலும் திசைவேகத்தின் மதிப்பு மாறாதிருத்தல் அவசியம். திசைவேகம் ஒரே அளவினதாக இருந் தால்தான் கால்வாய்களில் வரும் கசடுகளை அடித்துச் செல்ல வசதி யாக இருக்கும். ஆகவே, அப்படிப்பட்ட தன்மைத்தான கால் வாய்களை நிர்மாணித்தல் அவசியம். இதற்குக் கால்வாய்களின் குறுக்கு வெட்டமைப்பு அதிபரவளைவுச் சார்பாக (hyperbolic function) இருக்க வேண்டுமெனக் காட்டலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·9. பெரும சராசரித் திசைவேகத்தில் 0·1 கமீ/வி பாயுவீதத்தில் நீரைக் கடத்த 0·5 மீ விட்டமுள்ள குழாய் என்ன சரிவில் நிறுவப்பட வேண்டும்? செசி எண் = 50.

$D=0{\cdot}5$ மீ $\qquad\qquad C=50$

$Q=0{\cdot}1$ கமீ/வி

சராசரித் திசைவேகம் பெருமமாக இருக்க வேண்டுமானால் நீரின் ஆழம் $0{\cdot}81d$-ஆக இருக்க வேண்டும். எனவே, நீரின் ஆழம்,

$$y=1{\cdot}62\times 0{\cdot}25=0{\cdot}405 \text{ மீ}$$

$$\theta=\cos^{-1}\frac{0{\cdot}155}{0{\cdot}25}=51\tfrac{1}{4}^\circ$$

ஆகவே,

$$P=\frac{\pi\times 0{\cdot}5\times 257{\cdot}5^\circ}{360^\circ}=1{\cdot}123 \text{ மீ}$$

$A=$ வட்ட கோணப்பகுதியின் பரப்பு + முக்கோணத்தின் பரப்பு

$$=\frac{\pi\times 0{\cdot}25^2}{4}\times\frac{257{\cdot}5^\circ}{360}+\frac{0{\cdot}25^2}{8}\sin 102{\cdot}5^\circ$$

$$=0{\cdot}171 \text{ மீ}^2$$

நீரியலாரம், $R=\frac{A}{P}=\frac{0{\cdot}171}{1{\cdot}123}=0{\cdot}152$ மீ

செசி சமனியைப் பயன்படுத்தி,

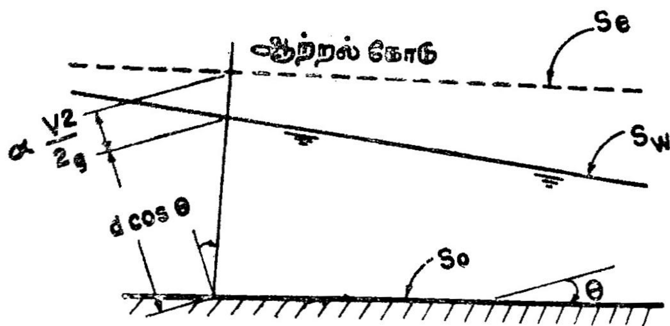
$$Q=AC\sqrt{RS}$$

$$0{\cdot}1=0{\cdot}171\times 50\times\sqrt{0{\cdot}152\times S}$$

$$\therefore S=\frac{1}{1100}$$

11·17. தன் ஆற்றல் (Specific Energy)

இந்தக் கருத்து பாக்மெட்டாஃப் (Bakhmeteff) என்ற அமெரிக்கரால் 1912-ஆம் ஆண்டு கையாளப்பட்டது. ஒரு கால்வாயில் எந்த இடத்திலும் அதன் அடித்தளத்திற்கு மேலுள்ள



படம் 11·8. தன் ஆற்றல்—விளக்கப்படம்

மொத்த ஆற்றல் தன் ஆற்றல் என வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது. ஒரு நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் சீரான ஓட்டம் இருக்கும்போது அதன் ஆற்றல் கெழு (energy coefficient) ஒன்றானால் தன் ஆற்றல் E-ஆனது (படம் 11·8),

$$E=y+\frac{V^2}{2g} \qquad (11{\cdot}12)$$

இதில் y திரவ ஓட்டத்தின் ஆழத்தையும் V சராசரித் திசை வேகத்தையும் குறிக்கும். இதையே ஒரு அலகு அகலத்திலுள்ள பாயுவீதமான q-வினால் எழுதினால்,

$$E=y+\frac{q^2}{2gy} \tag{11·13}$$

இந்தச் சமன்பாடு படம் 11·9-ல் வரைபடம் மூலம் விளக்கப் பட்டுள்ளது. தன் ஆற்றல் அதிகரிக்க அதிகரிக்க வளைகோடானது

படம் 11·9. ஆழம், தன் ஆற்றல் தொடர்புகள்

$E=y$ என்ற நேர்கோட்டையும் x-அச்சையும் ஈற்றணுகிபோல் அணுகுகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட பாயுவீதத்திற்கு தன் ஆற்றல் ஒரு அளவிற்குக் குறைவாக இருக்க முடியாது. அந்த மதிப்பிற்கு மேலுள்ள தன் ஆற்றலில் எந்த மதிப்பிற்கும் இரண்டு ஆழங்கள் y_1, y_2' சாத்தியமாகும். இந்தக் கொள்கைரீதியான ஆழங்கள் மாற்று ஆழங்கள் (alternate depths) என வழங்கப்படும். ஆனால் சோதனையில் உண்டாகும் ஆழங்கள் y_1, y_2 தொடர் ஆழங்கள் (sequent depths) என அழைக்கப்படும். ஆற்றல் இழப்பால் y_2-ன் மதிப்பு y_2'-ன் மதிப்பைவிடக் குறைவாக இருக்கும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட பாயுவீதத்திற்கு C என்ற இடத்தில் தன் ஆற்றலின் மதிப்பு வெகு குறைவாகும். இந்த இடம் படத்தில்

காட்டப்பட்டுள்ளதுபோல் ஒரே ஒரு ஆழம் தான் சாத்தியமாகும். இதற்கு மாறுநிலே ஆழம் (critical depth) எனப் பெயர். கொடுக்கப் பட்டுள்ள பாயுவீதத்திற்கு மாறுநிலே ஆழத்தைக் கண்டறிய E-ஐ y-ஆல் வகைபடுத்தி $\frac{dE}{dy}$-ஐ சுழிக்குச் சமமாக்கவேண்டும்.

$$E=y+\frac{q^2}{2gy^2}$$

$$\frac{dE}{dy}=1-\frac{q^2}{gy^3}=0$$

ஆகவே,

$$y_c=\sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \qquad (11{\cdot}14)$$

எனவே, ஒரு அலகு அகலத்தில் பாயும் கொடுக்கப்பட்டுள்ள பாயு வீதத்திற்கு y_c என்பது திட்டவட்டமாக நிர்ணயிக்கப்பட்டுள்ளது. இதேபோல் கொடுக்கப்பட்டுள்ள தன் ஆற்றலுக்கு மாறுநிலே ஆழத்திலேயேதான் பெரும q நிகழும் என்று காண்பிக்கலாம்.

$$q=Vy$$

$$q=y\sqrt{2g(E-y)}$$

q பெரும மதிப்புடையதாக இருக்க q-ஐ y-ஆல் பாகுபடுத்தி $\frac{dq}{dy}=0$ ஆக்கவும். பிறகு

$$2Ey-3y^2=0$$

ஆகவே, $E=\frac{3}{2}y_c$

அதாவது,

$$\frac{V^2}{2g}=\frac{1}{2}y_c=\frac{1}{3}E \qquad (11{\cdot}15)$$

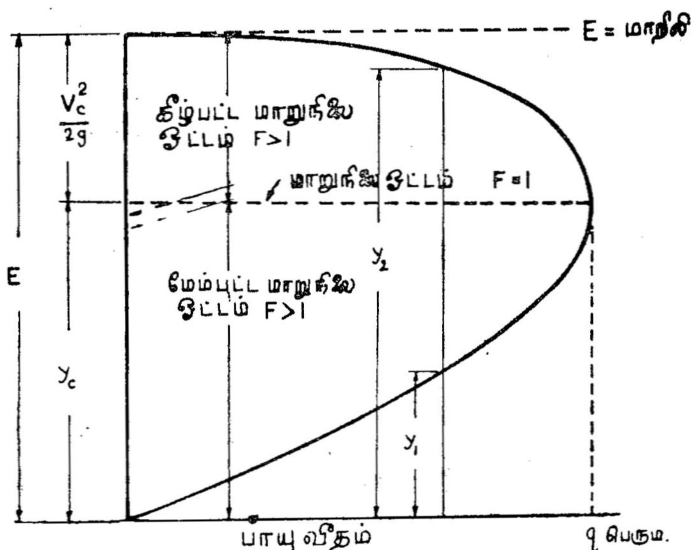
மேற்கண்ட சமன்பாடு நீண்ட சதுரம், சதுரக் கால்வாய்களுக்கு மட்டுமே ஆகும். மாறுநிலேயில் திசைவேக உயரம் ஆழத்தில் பாதியாகும். மேலும் மாறுநிலேயில் ஃப்ரூடு எண் (Froude number) என்று வழங்கப்படும் $\frac{V}{\sqrt{2gy}}$-ன் மதிப்பு ஒன்றுகும். ஃப்ரூடு எண் நிலேம விசைக்கும் (inertial force) ஈர்ப்பு விசைக்கும் (gravitational force) உள்ள விகிதம் என்பது நோக்கற்பாலது. எந்த மாதிரி பரிசோதனேகளில் ஈர்ப்பு விசை முக்கியமோ அங்கு இந்த எண் ணின் மதிப்பு மூல முன்மாதிரியிலும் (prototype) மாதிரியிலும் சம மாக இருக்க வேண்டும். திரவ ஓட்டத்தின் ஆழம் மாறுநிலே ஆழத்திற்கு அதிகமாக இருந்தால் ஃப்ரூடு எண்ணின் மதிப்பு

ஒன்றுக்குக் குறைவாகவும் ($F < 1$), ஆழம் குறைவாக இருந்தால் ஒன்றுக்கு அதிகமாகவும் ($F > 1$) இருக்கும். ஆகவே, திரவமானது மேம்பட்ட மாறுநிலையிலுள்ளதா (super critical) அல்லது கீழ்ப் பட்ட மாறுநிலையிலுள்ளதா (sub-critical) என்பதை அறிய இந்த எண் உதவும்.

ஒரு குறிப்பிட்ட பாயுவீதத்தை (discharge) அதன் மாறுநிலை ஆழத்தில் சீரான ஆழத்திலிருக்கும்படியான அளவிற்கு ஒரு கால்வாயின் சரிவு இருக்குமானல் அந்தச் சரிவிற்கு மாறுநிலைச் சரிவு (critical slope) எனப் பெயர். அந்தச் சீரான ஆழமானது மாறுநிலை ஆழத்திற்குக் குறைவாக இருக்குமானல், கால்வாயின் அடித்தளச் சரிவிற்கு செங்குத்தான சரிவு (steep slope) எனப் பெயர்; மாறுநிலை ஆழத்திற்கு அதிகமாக இருக்குமானல் இலேசான சரிவு (mild slope) என்றும் வழங்கப்படும்.

11·18. பாயுவீத விளக்கப்படம் (Discharge Diagram)

படம் 11·10-ல் ஒரு குறிப்பிட்ட ஒரு தன் ஆற்றல் E-க்கு, q-க்கும் y-க்குமுள்ள சம்பந்தம் காட்டப்பட்டுள்ளது. கொடுக்கப்பட்டுள்ள



படம் 11·10. பாயுவீதம்—தன் ஆற்றல் பற்றிய விளக்கப்படம்

தன் ஆற்றலுக்கு பெரும பாயுவீதம் $y = \frac{2}{3}E$-ஆக இருக்கும்போது ஏற்படுகிறது. அந்தப் பெரும q-க்கு அதிகமாகப் பாயுவீதம் நிகழச்

சாத்தியமில்லை. அந்தப் பெரும பாயுவீதத்தில் ஆழமானது மாறுநிலை ஆழமாகும் என்பதும் காணலாம். மற்ற எந்தப் பாயு வீதத்திற்கும் இரண்டு ஆழங்கள் சாத்தியம். அவைகள் முன்னர் விளக்கப்பட்டுள்ளது போல் மாற்று ஆழங்களாகும். தன் ஆற்றல், தன்விசைப் படங்களோடு நீரியற் குதிப்புப் பகுதியில் இந்தக் கருத்து மேலும் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

மாதிரிக் கணக்கு 11·10. 3 மீ அகல கிடைமட்டக் கால்வாயில் 12 கமீ/வி அளவான நீரோட்டம், அதன் அடித்தளத்திலிருந்து 2 மீ மொத்த ஆற்றல் உயரத்தில் பாய்கிறது. அதன் ஆழங்கள் யாவை ?

$Q=12$ மீ^{3}/வி $\qquad E=2$ மீ

$b=3$ மீ

$$V=\frac{12}{3y}=\frac{4}{y}$$

மேலும்

$$\frac{V^2}{2g}+y=2$$

ஆகவே,

$$\frac{16}{2\times 9{\cdot}81\times y^2}+y=2$$

சமன்பாட்டிலிருந்து y-யின் மதிப்பைக் கண்டால்,

$y=0{\cdot}84$ மீ, $\quad 1{\cdot}77$ மீ ஆகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·11. மாதிரிக் கணக்கு 11·10-ல், 12 மீ^{3}/வி பாயுவீதத்திற்குச் சிறும தன் ஆற்றல் எவ்வளவு ?

ஓட்டமானது மாறுநிலை ஆழத்திலிருக்கும்போது தன் ஆற்றல் அதன் சிறும மதிப்பிலிருக்கும்.

$$q=\frac{12}{3}=4 \text{ மீ}^3/\text{வி}/\text{மீ}$$

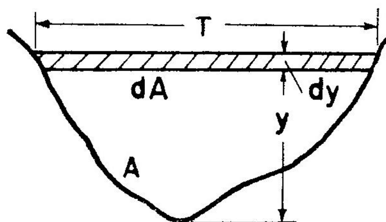
$$y_c=\sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$=\sqrt[3]{\frac{16}{9{\cdot}81}}=1{\cdot}177 \text{ மீ}$$

$$E_c=y_c+\frac{V_c^2}{2g}=1{\cdot}177+0{\cdot}588=1{\cdot}765\text{மீ.}$$

11·19. நீண்ட சதுரமற்ற கால்வாய்கள் (Non-Rectangular Channels)

படம் 11·11-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போன்ற நீண்ட சதுர வடிவமற்ற கால்வாயில் திரவ ஓட்டத்தைப்பற்றி காண்போம். கால்வாயின் அடித்தளச் சரிவு மிகச் சிறியதாகவும், ஆற்றல் கெழு



படம் 11·11. கால்வாயின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம்

ஒன்றுக்குச் சமமாகவும் இருக்குமானல் ஒரு குறிப்பிட்ட பாயுவீதம் Q-க்கு தன் ஆற்றலை

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2}$$

என எழுதலாம். இதில் A குறுக்குவெட்டுப் பரப்பையும் V சராசரித் திசைவேகத்தையும் குறிக்கும்.

E-ஐ y-ஆல் வகையிட்டால்,

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{Q^2}{gA^3}\,\frac{dA}{dy} = 1 - \frac{V^2}{gA}\,\frac{dA}{dy}$$

திரவத்தின் மேல்மட்டத்திலுள்ள dA என்ற சிறிதளவான பரப்பு Tdy-க்குச் சமமாகுமாதலால் $\frac{dA}{dy} = T$ ஆகும். நீரியலாழம் $D = \frac{A}{T}$.

ஆகவே,

$$\frac{dE}{dy} = 1 - \frac{V^2 T}{gA} = 1 - \frac{V^2}{gD} = 0$$

தன் ஆற்றல் மாறுநிலையில் அதன் சிறும மதிப்பை அடைவதால்,

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{D}{2}$$

ஆகவே,

$$\frac{V}{\sqrt{gD}} = 1$$

கால்வாயின் அடித்தளச் சரிவு θ ஆகவும், ஆற்றல் கெழுவின் மதிப்பு a-ஆகவும் இருக்குமானுல் ஃப்ருேடு எண்

$$F=\frac{V}{\sqrt{\frac{gD\cos\theta}{a}}} \tag{11·16}$$

நீண்ட சதுரமற்ற கால்வாய்களில் நீரியலாரமானது நீரியலாழத்தால் இடம் பெயர்க்கப்படுவது நோக்கற்பாலது.

11·20. தன்விசை (Specific Force)

ஒரு ஆட்சிபருமனில் செயல்படும் வெளி விசைகளை புறக்கணித்துவிட்டு உந்தக் கெழுவை ஒன்று என எடுத்துக் கொண்டு, வெகு குறைவான அடித்தளச் சரிவையுடைய கால்வாயின் தன் விசையை, நிலைநீரியல் விசை (hydrostatic force) முன் உந்தத்தை அழிப்பதால் ஏற்படும் விசை ஆகிய இரண்டின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமம் என வரையறுக்கலாம். கால்வாயிலுள்ள திரவத்தின் அடர்த்தியை ρ எனக் கொண்டால், தன்விசை F-ன் அளவு,

$$F=\rho g\bar{y}A+\rho QV$$

ஒரு அலகு அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயில்,

$$F=\frac{\rho g y^2}{2}+\rho qV \tag{11·17}$$

$$\frac{F}{\rho g}=\frac{y^2}{2}+\frac{q^2}{gy}$$

F-ஐ y-ஆல் வகையிட்டால், F-ன் சிறும மதிப்பிற்கு,

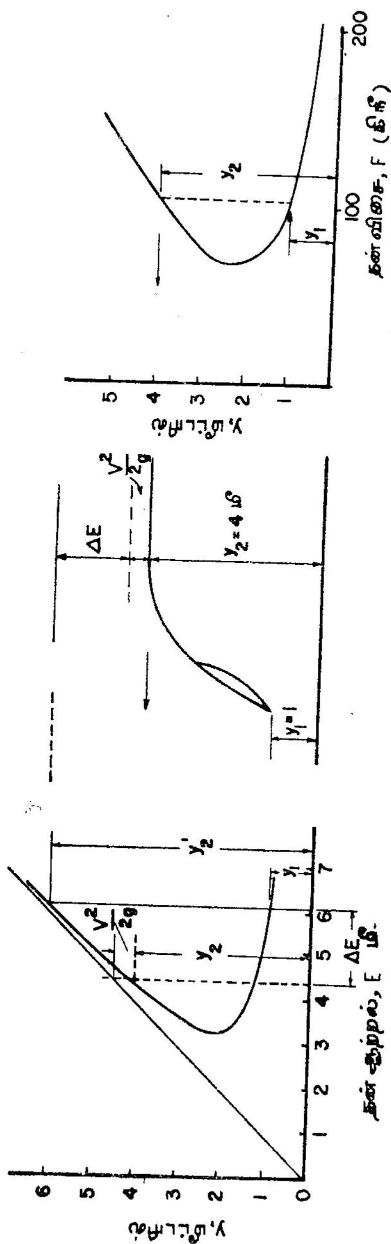
$$\frac{1}{\rho g}\frac{dF}{dy}=y-\frac{q^2}{gy^2}=0$$

ஆகவே, $$y=\sqrt[3]{\frac{q^2}{y}}$$

இதேபோல் $D=\sqrt[3]{\frac{q^2}{y}}$ எனக் காண்பிக்க முடியும்.

மாறுநிலையில் குறிப்பிட்ட தன்விசையும் குறிப்பிட்ட பாயு வீதத்திற்குச் சிறுமமாகயிருக்கும்.

தன் ஆற்றல், தன்விசை இவற்றின் ஒப்புமை படம் 11·12-ல் நீரியற் குதிப்பின் உதவியால் விளக்கப்பட்டுள்ளது.



படம் 11·12. தன் ஆற்றல், தன்விசைகளுக்கான தொடர்பு q=10 மீ/வி

எந்தக் கால்வாயிலும் திரவ ஓட்டத் திசையில் மொத்த ஆற்றல் கோடு சரிந்து இருக்கும். இதற்குக் காரணம் நீரோட்டத்தால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பேயாகும். ஆனால் தன் ஆற்றலானது நிலைக்கேற்ப நீரோட்டத் திசையில் குறையவோ அல்லது அதிகரிக்கவோ செய்யும்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·12. 2 மீ அகலமுள்ள கிடைமட்ட நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் 8 மீ^{3}/வி பாயுவீதம், 1 மீ ஆழத்தில் திரவம் ஓடுகிறது. சிறுமத் தன்விசையைக் கணக்கிடு.

தன்விசை மாறுநிலையில் சிறுமமாகயிருக்கும்,

$$\text{மாறுநிலை ஆழம் } y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{4^2}{9{\cdot}81}} = 1{\cdot}18 \text{ மீ}$$

$$\text{ஆகவே, சிறுமத் தன்விசை } F = \rho g\bar{y}A + \rho QV$$
$$= 1000 \times 9{\cdot}81 \times 0{\cdot}5 \times 2 + 1000 \times 8 \times 4$$
$$= 41{\cdot}180 \text{ கிநி.}$$

11·21. நீரியற் குதிப்பு (Hydraulic Jump)

கொடுக்கப்பட்ட பாயுவீதத்திற்கு ஒரு நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் மாறுநிலையைத் தவிர மற்ற நிலைகளில் இரண்டு ஆழங்களில் ஏதாவதொரு ஆழத்தில் திரவம் ஓடலாம் எனப் பார்த்தோம். ஆகவே, எந்த ஒரு தனி ஆற்றலிலும் ஓட்டமானது, கீழ்ப்பட்ட மாறுநிலை ஆழத்திலிருந்து மேம்பட்ட மாறுநிலை ஆழத்திற்கோ அல்லது மேம்பட்ட மாறுநிலை ஆழத்திலிருந்து கீழ்ப்பட்ட மாறுநிலை ஆழத்திற்கோ மாறலாம் என்பது தெளிவு. முதலில் கூறிய மாறுபாடு திடீரென ஏற்படும் பள்ளங்களிலும் (falls) அடித்தளச் சரிவானது இலேசான சரிவிலிருந்து செங்குத்தான சரிவாக மாறுமிடங்களிலும், கால்வாயின் குறுக்களவு குறுகுகின்ற இடங்களிலும் ஏற்படும். இந்த வகையான மாறுபாட்டால் ஓட்டமானது முடுக்கப்படுகிறது. ஆகவே, ஆற்றலிழப்பு குறைவாக உள்ளது. ஆனால் எங்கெல்லாம் வெறிநிலை (shooting or rapid) யிலிருந்து சாந்த (tranquil) நிலைக்குத் திரவ ஓட்டம் மாறுகிறதோ அங்கெல்லாம் திரவ ஆழமானது திடீரென உயர வாய்ப்பிருக்கிறது. இதனால் சுழல்கள் அதிகமுண்டாகி ஆற்றலிழப்பு சிறிது தூரத்தில் அதிகப்படுகிறது. இப்படிப்பட்ட திடீரென திரவ ஆழம் அதிகமாவதற்கு நீரியற் குதிப்பு என்று பெயர்.

எந்தவொரு அடித்தளச் சரிவு, சொரசொரப்பு உள்ள கால்வாயிலும் திரவமானது படிப்படியாக தன் வெறி ஓட்ட நிலையிலிருந்து சாந்த ஓட்டநிலைக்கு மாறமுடியாது. ஒரு வெறி ஓட்ட நிலையில் திரவ ஆழம் அதிகரிக்க, அதிகரிக்க தன் ஆற்றல் குறைந்து கொண்டே வந்து சிறும மதிப்பை அடைகிறது. இதை படம் 11·9-லிருந்து அறியலாம். திரவ ஆழமானது திரவ ஓட்டத்தின் கீழ்ப்பாகத்திலுள்ள சீரான ஆழத்திற்கு உயரவேண்டுமானுல் தன் ஆற்றலின் மதிப்பும் அதிகரிக்க வேண்டும். ஆனுல் இது சாத்தியமில்லை. வெளியிலிருந்து ஆற்றல் வந்தாலொழிய திரவமானது தன்னுடைய மொத்த ஆற்றலை அதிகரிக்க வழியில்லை. ஆகவே, ஆழமாற்றமானது வெறி ஓட்டத்திலிருந்து சாந்த ஓட்ட நிலைக்கு ஏதுவாக இருக்க வேண்டியதிருக்கிறது, எனவே, திரவ ஓட்டத்தின் ஆழமானது மாறுநிலை ஆழத்தை அடைவதற்கு முன்பே திரவ ஓட்டத்தின் பின்பாகத்திலிருக்கும் ஆழத்திற்கு திடீரென்று உயருகிறது. இந்தத் திடீர் ஆழமாற்றத்தால் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பால் தன் ஆற்றலும், மொத்த ஆற்றலும் குதிப்பிற்கு முன்னுல் இருந்ததைவிடக் குறைவாக இருக்கும்.

11·22. y_1, y_2-க்குமுள்ள தொடர்பு

நீரியற் குதிப்பால் ஏற்படும் ஆழமாற்றத்தின் தொடர்பை உந்தகத் தத்துவத்தால் (momentum principle) அறியலாம். குதிப்பில் உண்டாகும் ஆற்றலிழப்பைச் சரியாக அறிய முடியாததால் ஆற்றற் தத்துவத்தைப் (energy principle) பயன்படுத்தி ஆழங்களுக்குள்ள தொடர்பை அறிய முடியாது. y_1-க்கும் y_2-விற்கும் இடையேயுள்ள தொடர்பை அடைவதில் கீழ்க்கண்ட தற்கோள்கள் (assumptions) கையாளப்படுகின்றன. (1) குதிப்பிற்கு முன்னும் பின்னுமுள்ள திசைவேகத்தின் அமைப்பு சீரானது. (2) கால்வாயின் அடித்தளம் மற்றும் ஓரங்களிலுள்ள சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவுகள் புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு சிறியன. (3) கால்வாய் கிடைமட்ட அமைப்பை உடையது. (4) குதிப்பிற்குப் பிறகுள்ள கொந்தளிப் பாற்றல் (turbulent energy) புறக்கணிக்கத்தக்க அளவினது. (5) புறப்பரப்பு இழுவிசை (surface tension) புறக்கணிக்கத் தக்க அளவினது. (6) கால்வாயின் வடிவம் நீண்ட சதுரம்.

ஒரு அலகு அகலமுள்ள கால்வாயை எடுத்துக் கொண்டு படம் 11·13-ல் காட்டப்பட்டுள்ள ஆட்சி பருமனுக்கு உந்தத் தத்துவத்தை பயன்படுத்தினுல்

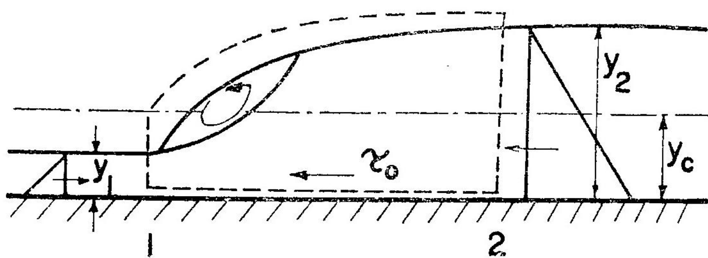
$$\frac{wy_1^2}{2} - \frac{wy_2^2}{2} = \rho Q (V_2 - V_1) \qquad (11{\cdot}18)$$

தொடர்ச் சமன்பாட்டின்படி,

$$V_1 y_1 = V_2 y_2 \tag{11·19}$$

சமன்பாடு 11·19-ஐ 11·18-ல் இட,

$$y_1 + y_2 = \frac{2q^2}{g} \frac{1}{y_1 y_2}$$



படம் 11·13. நீரியற் குதிப்பு—விளக்கப்படம்

ஆகவே,

$$y_2 = -\frac{y_1}{y_2} \pm \sqrt{\frac{y_1^2}{4} + \frac{2q^2}{gy_1}}$$

எதிர் மதிப்பை விலக்கி விட்டு,

$$y_2 = -\frac{y_1}{2} + \sqrt{\frac{y_1^2}{4} + \frac{2q^2}{gy_1}}$$

தொடக்க ஃப்ரூடு எண்ணல் விளக்கினல்,

$$\frac{y_2}{y_1} = \tfrac{1}{2}\left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1\right) \tag{11·20}$$

y_2-ன் மதிப்பு கொள்கைரீதியாகக் கிடைக்கும் மதிப்பைவிட உயர் ஃப்ரூட் எண்களுக்கு 4 சதவீதம் அதிகமாக இருப்பதாகக் கண்டறியப் பட்டிருக்கிறது.

11·23. நீரியற் குதிப்பில் ஆற்றலிழப்பு

பெர்ணலித் தேற்றத்தை படம் 11·13-ல் காட்டப்பட்டுள்ள 1, 2 பகுதிகளில் பயன்படுத்திஞல்,

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_L$$

ஆகவே, $$h_L = \left(y_1 + \frac{V_1^2}{2g}\right) - \left(y_2 + \frac{V_2^2}{2g}\right)$$

$$= \frac{q^2}{2g}\left(\frac{1}{y_1^2} - \frac{1}{y_2^2}\right) - (y_2 - y_1)$$

ஆனல் $$\frac{q^2}{g} = \frac{y_1 y_2 (y_1 + y_2)}{2}$$

ஆதலால் $$h_L = \frac{y_1 y_2 (y_1 + y_2)}{4}\left(\frac{1}{y_1^2} - \frac{1}{y_2^2}\right) - (y_2 - y_1)$$

$$= (y_2 - y_1)\left\{\frac{(y_1 + y_2)^2}{4y_1 y_2} - 1\right\}$$

$$h_L = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2} \qquad (11{\cdot}21)$$

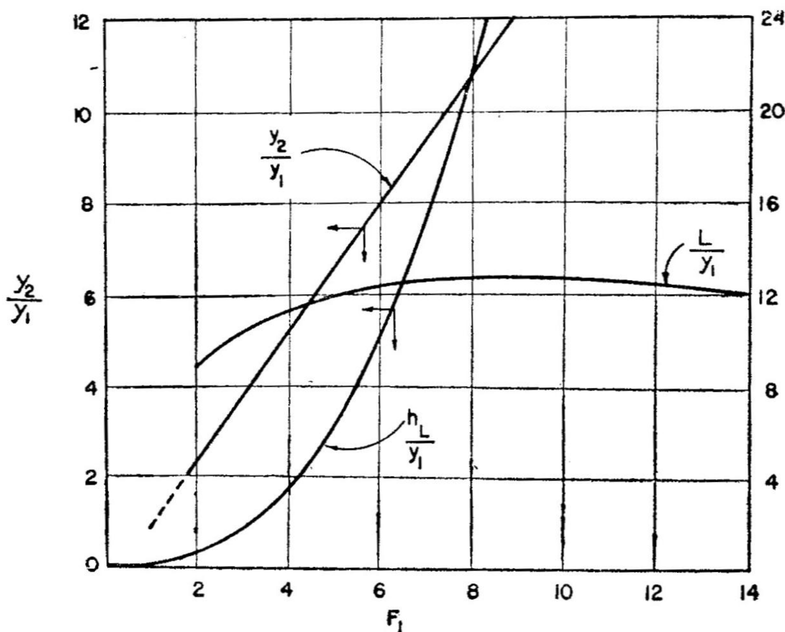
படம் 11·12–ல் காட்டியுள்ளபடி நீரியற் குதிப்பில் ஏற்படும் ஆற்றலிழப்பை தன் ஆற்றல், தன்விசை விளக்கப்படங்களின் உதவியாலும் கண்டறியலாம். தன்விசை விளக்கப்படத்திலிருந்து, கொடுக்கப்பட்டுள்ள y_1-ன் மதிப்பிற்கு அதன் தொடர் ஆழமான y_2-ஐ அறியலாம். தன் ஆற்றல் விளக்கப்படத்திலிருந்து மாற்று ஆழமான y_2'-ஐ அறியலாம். ஆகவே, y_2-க்கும் y_2'-க்குமுள்ள வேறுபாடான ஆற்றலிழப்பை மேலே கண்ட விளக்கப்படத்திலிருந்து கண்டறியலாம்.

11·24. நீரியற் குதிப்பின் சிறப்பியல்புகள் (Characteristics of the Hydraulic Jump)

நீரியற் குதிப்பின் நீளம் நீரானது எந்த இடத்தில் வெண்நுரையுடன் சுழன்று சுழன்று பின்னல் விழுகிறதோ அந்த இடத்திற்கும், பின்பகுதியில் எங்கிருந்து ஆழமானது சீராகிறதோ அந்த இடத்திற்குமுள்ள தூரமாகும். கொள்கை அடிப்படையில் குதிப்பின் நீளத்தைஅறிய இதுகாறும் ஒரு வழியும் இல்லை. ஆனல் சோதனைகளிலிருந்து கிடைத்த புள்ளி விபரங்களின் அடிப்படையில் உருவான பகுதி அனுபவச் சமனிகள் பல உள்ளன. பொதுவாக நீரியற் குதிப்பின் நீளம் அதன் உயரத்தைவிட 5 முதல் 6 மடங்கு வரை அதிகமாக இருக்குமெனக் கொள்ளலாம். குதிப்பின் உயரமானது $(y_2 - y_1)$ ஆகும்.

தொடர் ஆழங்களுக்குள்ள தொடர்பு வெகு முக்கியமானதாகும். கொள்கை அடிப்படையிலும், சோதனை அடிப்படையிலும் தொடர் ஆழங்களுக்கான சம்பந்தம் நன்கு நிர்ணயிக்கப்பட்டுள்ளது.

நீரியற் குதிப்பின் முக்கிய பயன் அதிகப்படியான ஆற்றலை வெகு குறுகிய தூரத்திற்குள் கொந்தளிப்பு ஆற்றலாக மாற்றி கடைசியில் அவற்றை வெப்ப ஆற்றலாக வளி மண்டலத்திற்கு இழக்கச் செய்வதேயாகும். ஆகவே, இந்த நீரியற் குதிப்பானது அணைகளில் வழிகால்களின் (spillways) அடிப்பாகங்களில் ஆற்றலை அழிக்கப் பயன்படுகிறது. எங்கெல்லாம் நல்ல கலப்பு தேவையோ அங்கெல்லாம் குதிப்பைப் பயன்படுத்தலாம்; இதிலுண்டாகும் கொந்தளிப்பு கலப்பிற்கு உதவுகிறது.



படம் 11·14. நீரியற் குதிப்பின் சிறப்பியல்புகள்

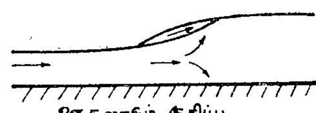
திரவமானது வெறி ஓட்டத்திலிருந்து சாந்த ஓட்டத்திற்கு மாறும் போதே நீரியற் குதிப்புச் சாத்தியம். y_2-ஆனது y_1-க்குக் குறைவாக இருக்குமானால் ஆற்றலழிவான h_L, எதிர் மதிப்புடைத் தாகிறது. இது நடக்கக் கூடியதன்று. ஆகவே, சாந்த ஓட்டத்தி லிருந்து வெறி ஓட்டத்திற்குத் திரவ ஓட்டம் மாறும்போது நீரியற் குதிப்பு ஏற்படாது.

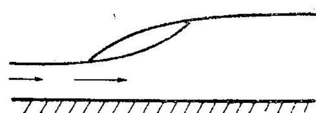
நீரியற் குதிப்பின் பலதரப்பட்ட இயல்புகள் படம் 11·14-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

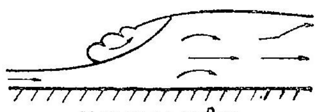
11·25. நீரியற் குதிப்பின் வகைகள்

நீரியற் குதிப்பானது அதன் தொடக்க ஃப்ரூடு எண்ணால் பாகுபடுத்தப்படுகிறது. $F_1 = 1$-ஆக இருக்கும்போது ஓட்டமானது மாறுநிலை உடைத்து. இந்நிலையில் நீரியற் குதிப்பு சாத்தியமல்ல. $F_1 = 3$ வரை தொடர் ஆழங்களுக்குள்ள வேறுபாடு அதிகமல்ல. ஆகவே, F_1-ஆனது 1-லிருந்து 3 வரை உள்ளபோது பலவீனமான குதிப்பு (weak Jump) என அழைக்கப்படுகிறது. F_1-ஆனது 3-லிருந்து 6 வரை மதிப்புள்ளபோது பலமான அலைகள் ஏற்படுகின்றன. இந்த அலைகள் மண் கால்வாயின் கரைகளைச் சேதப்படுத்துமளவிற்கு ஆற்றல் வாய்ந்தவை. ஆகவே, இந்த மதிப்புள்ள நீரியற் குதிப்புகளை மண் கால்வாய்களில் தவிர்க்கவேண்டும்.


பலவீனமான குதிப்பு


ஊசலாடும் குதிப்பு


தெளிவான குதிப்பு


வலுவான குதிப்பு

படம் 11·15.
நீரியற் குதிப்பின் வகைகள்

6-லிருந்து 9 வரை F_1-ன் மதிப்பு இருக்கும்போது தெளிவான குதிப்பு (clear jump) உண்டாகிறது. 45-லிருந்து 60 சதவீதம் வரை ஆற்றலிழப்பு ஏற்படலாம். ஃப்ரூடு எண் ஒன்பதிற்கு மேல் இருக்குமானால் வலுவான நீரியற் குதிப்பு உண்டாகி 85 சதவீதம் வரை ஆற்றலிழப்பு ஏற்படுகிறது. அணைகளின் வழிகால்களின் அடிப்பாகத்திலும் மதகுகளுக்குப் பிறகும் கட்டப்படும் அசைவிலாக்குட்டை (stilling basins)களில் நீரியற் குதிப்பானது தங்கி செயல்படுவதற்கேற்ப தடுப்புகள் (baffles) கட்டப்படுகின்றன. நீரியற் குதிப்பு உண்டாவதையும், அதன் தன்மையையும் மாதிரிச் சோதனைகள் மூலமே திட்டமாக அறியமுடியும். நீரியற் குதிப்பின் பலவகைகள் படம் 11·15-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

மாதிரிக் கணக்கு 11·13. 2 மீ அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் நீரியற் குதிப்பின் நீரின் ஆழம் 1 மீ-லிருந்து 2 மீ-க்கு மாறுகிறது. கால்வாயில் ஓடும் நீரின் அளவையும், ஃப்ரூடு எண்ணையும் ஆற்றலிழப்பு உயரத்தையும் கணக்கிடுக.

$y_1 = 1$ மீ $\qquad q = ?$

$y_2 = 2$ மீ $\qquad h_L = ?$

இப்போது

$$y_2 = -\frac{y_1}{2} + \sqrt{\frac{y_1^2}{4} + \frac{2q^2}{gy_1}}$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து q-ன் மதிப்பானது,

$$q = 5{\cdot}42 \text{ மீ}^3/\text{வி}/\text{மீ}$$

ஆகவே, $Q = 5{\cdot}42 \times 2 = 10{\cdot}84$ மீ³/வி

$$V_1 = \frac{10{\cdot}84}{2 \times 1} = 5{\cdot}42 \text{ மீ/வி}$$

தொடக்க ஃப்ரூடு எண் $F_1 = \dfrac{5{\cdot}42}{\sqrt{9{\cdot}81 \times 1}} = 1{\cdot}73$

ஆற்றலிழப்பு உயரம் $h_L = \dfrac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1y_2}$

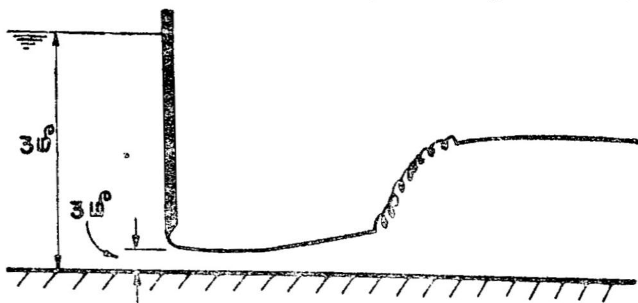
$$= \frac{(2-1)^3}{4 \times 2 \times 1} = \frac{1}{8} \text{ மீ}$$

மாதிரிக் கணக்கு 11·14. 5 மீ அகலமுள்ள ஒரு நீண்ட சதுரக் கால்வாய் விஞடிக்கு 10 கமீ நீரைக் கடத்திஞல் மாறுநிலை ஆழமென்ன ?

$$q = \frac{100}{5} = 20 \text{ கமீ/வி}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{20 \times 20}{9{\cdot}81}} = 3{\cdot}45 \text{ மீ.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 11·15. ஒரு கூரிய முனையுடைய மதகுக் கதவிற்குப் பின்புறமுள்ள நீரின் ஆழம் 3 மீ. மதகுக் கதவின் திறப்பினளவு அடித்தளத்திலிருந்து 0·3 மீ. மதகிலிருந்து கிடையான கால்வாய்க்கு நீர் பாய்ந்தால் கீழ்க்கண்டவற்றைக்



கண்டுபிடி: (அ) மதகின் கதவை அடுத்து ஃப்ரூடு எண்ணின் மதிப்பு, (ஆ) மாற்று ஆழம், (இ) நீரியற் குதிப்பின் நீளமும் உயரமும்.

$h=3$ மீ   படம் 11·32-லிருந்து,

$y=0{\cdot}3$ மீ $C_d=0{\cdot}59$

$\frac{y}{h}=0{\cdot}1$

ஒரு அலகு அகலத்தை எடுத்துக் கொண்டு,

$$q=C_d by\sqrt{2gh}=0{\cdot}59\times1\times0{\cdot}3\times\sqrt{2\times9{\cdot}81\times3}$$
$$=1{\cdot}356 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

$C_c=0{\cdot}61$ ஆதலால்,

$$y_1=0{\cdot}3\times0{\cdot}61=0{\cdot}183 \text{ மீ}$$
$$V_1=\frac{1{\cdot}356}{0{\cdot}183}=7{\cdot}4 \text{ மீ/வி}$$

ஆகவே,
$$F_1=\frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}=\frac{7{\cdot}4}{\sqrt{9{\cdot}81\times0{\cdot}183}}=5{\cdot}52$$
$$y_2=-\frac{y_1}{2}+\sqrt{\frac{y_1^2}{4}+\frac{2q^2}{gy_1}}$$
$$=-\frac{0{\cdot}183}{2}+\sqrt{\frac{0{\cdot}183^2}{4}+\frac{2\times1{\cdot}356^2}{9{\cdot}81\times0{\cdot}183}}$$
$$=1{\cdot}324 \text{ மீ}$$

நீரியற் குதிப்பின் உயரம் $y=(y_2-y_1)$
$$=1{\cdot}324-0{\cdot}183=1{\cdot}141 \text{ மீ.}$$

நீரியற் குதிப்பின் நீளம் ஃப்ரூடு எண்ணைப் பொருத்தது. உயரத்தைப் போல் 5 முதல் 6 மடங்கு அதிகமாயிருக்கும்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·16. ஒரு அணையின் வழிகால் (spillway) ஆற்றின் அடித்தளத்திலிருந்து 26 மீ உயரத்திலுள்ளது. அதன் மேல் வழியும் நீரின் உச்ச உயரம் 6 மீ. ஆற்றின் பின்பகுதியில் நீரின் சீரான ஆழம் 7·6 மீ ஆனால் நீரியற் குதிப்பு ஏற்படுமா எனச் சோதிக்கவும். $Q=2{\cdot}1\, LH^{\frac{3}{2}}$ என்று கொள்ளவும். வழிகால் பகுதியிலுண்டாகும் தடையைப் புறக்கணிக்கவும்.

ஒரு மீட்டர் அகலத்தை எடுத்துக்கொண்டு,

$$q = 2{\cdot}1 \times 1 \times 6^{\frac{3}{2}} = 30{\cdot}8 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

அணையின் அடிக்காலில் நீரின் திசைவேகம் V_1-ஆகவும் ஆழம் y_1-ஆகவும் இருக்கட்டும். அப்படியானால்,

$$V_1 = \frac{q}{y_1} = \sqrt{2g\,(26+6-y_1)} = \frac{30{\cdot}8}{y_1}$$

தீர்த்தால், $y_1 = 1{\cdot}25$ மீ

$y_1 = 1{\cdot}25$ மீ என்பதற்கு மாற்று ஆழமானது,

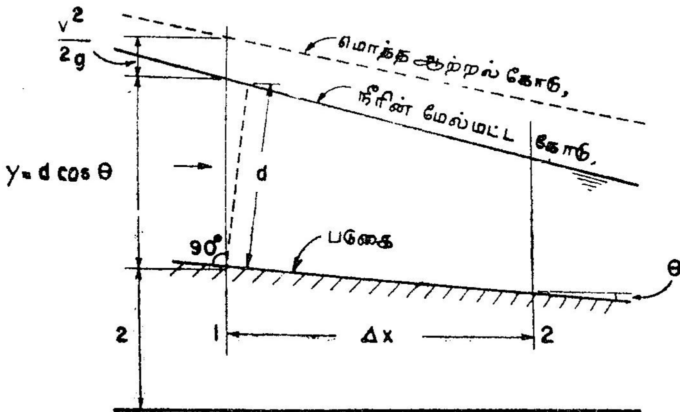
$$y_2 = -\frac{1{\cdot}25}{2} + \sqrt{\frac{1{\cdot}25^2}{4} + \frac{2 \times 30{\cdot}8^2}{9{\cdot}81 \times 1{\cdot}25}}$$

$$= 11{\cdot}825 \text{ மீ.}$$

ஆனல் ஆற்றின் கீழ்ப்பாகத்தில் ஆழமானது 7·5 மீட்டரே உள்ளது. ஆகவே, வடிகாலுக்குப் பிறகு அதன் அடிப்பாகத்தில் நீரியற் குதிப்பு சாத்தியமல்ல.

11·26. படிப்படியாக மாறும் ஓட்டம் (Gradually Varied Flow)

ஒரு கால்வாயின் நீளவாட்டத்தில் அதன் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு, அடித்தளச் சரிவு, நீரியலாரம், ஆழம் முதலியன சிறிதளவாக இடத்திற்கு இடம் மாறுமானல் அத்தகைய ஓட்டத்திற்குப்



படம் 11·16. படிப்படியாக மாறும் ஓட்டம்

படிப்படியாக மாறும் ஓட்டம் எனப் பெயர். திசைவேக மாற்றத்தால் ஏற்படும் வெளிப்புற விசைகளின் மதிப்பு குறைவாக இருக்குமாதலால் கால்வாயில் நிலைநீரியற் தகைவு அமைப்பே இருப்பதாகக்

கொள்ளலாம். மேலும் சிறு பகுதிகளில் ஆற்றலிழப்பு சமமாக இருக்குமெனக் கொள்ளலாம். ஆகவே, இந்தச் சிறு பகுதிகளில் ஓட்டமானது சீராக இருப்பதாகக் கருதி, மானிங், செசி வாய்பாடுகளைப் பயன்படுத்தலாம். படிப்படியாக மாறும் ஓட்டத்திற்கான வகைக்கெழு சமன்பாட்டைக் (differential equation) கீழே காண்போம் (படம் 11·16)

நீண்ட சதுர வடிவமுள்ள, 1–1 2-2 பிரிவுகளிடையில் $\triangle x$ நீளமுள்ள S_0 படுகைச் சரிவுள்ள கால்வாயை எடுத்துக் கொள்வோம்.

1-1 பகுதியிலுள்ள மொத்த ஆற்றலுயரமானது,

$$H=Z+d\cos\theta+\frac{V^2}{2g} \tag{11·22}$$

இதில் H மொத்த ஆற்றலுயரத்தை மீட்டரிலும், Z கால்வாயின் படுகை மட்ட உயரத்தை மீட்டரிலும், V சராசரி திசைவேகத்தை மீ/வி-யிலும், θ-ஆனது அடித்தளத்திற்கும் கிடைமட்டத்திற்கு மிடையேயுள்ள கோணத்தையும் குறிக்கும். இக்கோணம் மிகக் குறைவான மதிப்புள்ளதாக இருக்குமாஞல் $\sin\theta=S_0$ ஆகும்.

சமன்பாடு 11·22-ஐ x-ல் பாகுபடுத்திஞல்,

$$\frac{dH}{dx}=\frac{dZ}{dx}+\cos\theta\frac{dd}{dx}+\frac{d}{dx}\left(\frac{V^2}{2g}\right)$$

இப்போது $$\frac{d}{dx}\left(\frac{V^2}{2g}\right)=\frac{d}{dA}\left(\frac{Q^2}{2gA^2}\right)\frac{dA}{dx}$$

அடித்தளம் b அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயில்,

$$A=bd$$

$$\frac{dA}{dx}=b\cdot\frac{dd}{dx}$$

ஆகவே, $$\frac{d}{dx}\left(\frac{V^2}{2g}\right)=-\frac{Q^2}{gA^3}b\frac{dd}{dx}=-\frac{V^2}{gd}\frac{dd}{dx}$$

ஆதலால்

$$\frac{dH}{dx}=\frac{dZ}{dx}+\frac{dd}{dx}-\frac{V^2}{gd}\frac{dd}{dx}$$

θ-வின் மதிப்பு 6°-க்கும் குறைவாக இருக்குமானல் $\frac{dd}{dx} \backsimeq \frac{dy}{dx}$ ஆகும். மேலும்,

$$\frac{dH}{dx} = -S_e \;,\; \frac{dZ}{dx} = -S_0$$

எனவே,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_e}{1 - \frac{V^2}{gy}} \tag{11·23}$$

செசி வாய்பாடைப் பயன்படுத்தி, சீரான ஓட்டத்திலிருந்து ஏற்படும் மாறுபாடு குறைவாக இருக்குமானல்,

$$S_e = \frac{V^2}{C^2 R} = \frac{V^2}{C^2 y} = \frac{q^2}{C^2 y^2} \; (\because R \backsimeq y)$$

மேலும்,

$$\frac{V^2}{gy} = \frac{q^2}{gy^3} = \left(\frac{y_c}{y}\right)^3$$

ஆதலால்

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0\left(1 - \frac{V^2}{S_0{}^2 C^2 y}\right)}{1 - \left(\frac{y_c}{y}\right)^3} = \frac{S_0\left\{1 - \left(\frac{y_n}{y}\right)^3\right\}}{1 - \left(\frac{y_c}{y}\right)^3} \tag{11·24}$$

இதேபோல் மானிங் வாய்பாடைப் பயன்படுத்தி,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0\left\{1 - \left(\frac{y_n}{y}\right)^{\frac{10}{3}}\right\}}{1 - \left(\frac{y_c}{y}\right)^3} \tag{11·25}$$

இதனல் கால்வாயில் படிப்படியாக மாறுபடும் நீரோட்டத்தில் உண்டாகும் ஆழ மாறுபாடு அடித்தளச் சரிவையும், $\frac{y_n}{y}$, $\frac{y_c}{y}$ என்ற விகிதங்களையும் பொறுத்தது என அறியலாம்.

S_0, S_e-க்குச் சமமாகுமானல், $\frac{dy}{dx}$ மதிப்பு சமன்பாடு 11·25 சுழியாகும். இதனல் ஓட்டம் சீரானதாக இருக்குமெனத் தெரியும். அந்தச் சமன்பாட்டின் வலப்புறத்தில் விகுதி (denominator) சுழி

யாகுமானால், அது மாறுநிலையான ஃப்ரூடு எண் ஒன்றை குறிக்கும். அப்போது $\frac{dy}{dx}$-ன் மதிப்பு வரையிலி(infinity)யாகும். ஆதலால், நீரின் மேற்பாகம் செங்குத்தாக இருப்பதற்குச் சமமாகும். ஆனால் இது நடைமுறையில் சாத்தியமல்லவாதலால் இந் நிலையில் நீரியற் குதிப்பு ஏற்படுகிறது.

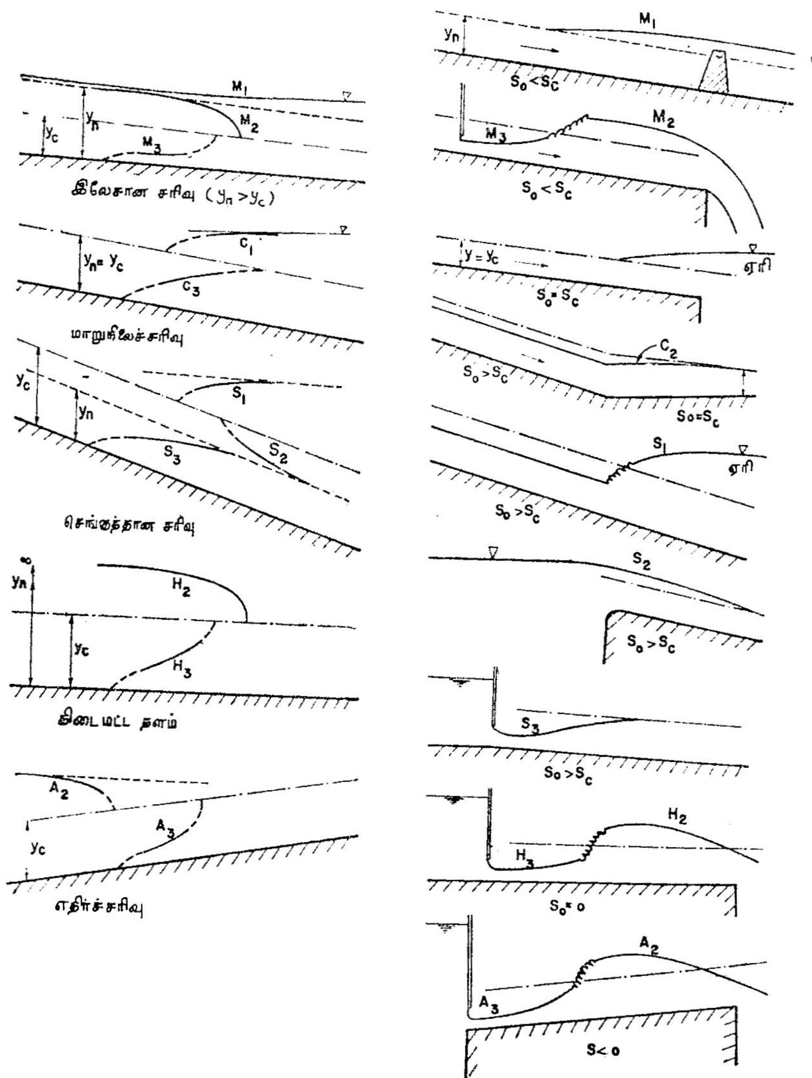
11·27. மேற்பரப்பின் பக்கத் தோற்றங்கள் (Surface Profiles)

எவ்வாறு நீரின் ஆழம் நீரோட்ட திசையில் மாறுகிறது என்பதைச் சமன்பாடு 11·22 விளக்குகிறது. $\frac{dy}{dx}$ எதிராக இருக்குமானால் நீரின் ஆழம் குறையும். $\frac{dy}{dx}$ நேராக இருக்குமானால் நீரின் ஆழம் ஓட்டத் திசையில் அதிரிக்கும். $\frac{dy}{dx}$-ன் குறியீடு S_o, y_c, y_n, y இவற்றை பொறுத்தது.

மேற்பரப்பின் பக்கத் தோற்றம் $\frac{y_n}{y}$, $\frac{y_c}{y}$ என்ற பின்னங்கள் ஒன்றின் மதிப்பிற்கு அதிகமாக அல்லது குறைவாக இருப்பதற்கேற்பவும் S_o-ன் மதிப்பிற்கேற்பவும் மாறும். அடித்தளச் சரிவு நேராகவோ, சுழியாகவோ அல்லது எதிராகவோ இருக்கலாம். எதிர்ச் சரிவில் கால்வாயின் அடித்தள மட்டமானது நீரோட்டத் திசையில் உயருகிறது. இது A என்று குறிக்கப்படுகிறது. அடித் தளச் சரிவு சுழியாக இருக்கும்போது கால்வாயின் அடித்தளம் மட்டமாக உள்ளது. இது H என்று குறிக்கப்படுகிறது. நேர் சரிவானது, இலேசான சரிவு, மாறுநிலைச் சரிவு, செங்குத்தான சரிவு என மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கப்பட்டு முறையே M, C, S என்ற எழுத்துக்களால் குறிக்கப்படுகிறது. மேற்கூறிய மூன்று வகைச் சரிவுகளிலும் முறையே $y_n > y_c$; $y_n = y_c$; $y_n < y_c$ ஆகும்.

எந்த எந்த மேற்பரப்புப் பக்கத் தோற்றங்கள் சாத்தியமோ, அவை படம் 11·17-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. பக்கத் தோற்ற வளைகோடுகள் இயல்பான ஆழத்திற்கும், மாறுநிலை ஆழத்திற்கும் மேலே இருக்குமானால் பின்னிணைப்பு 1-ஆலும், இடையிலிருக்குமானால் பின்னிணைப்பு 2-ஆலும் கால்வாயின் அடித்தளத்திற்கும் மாறுநிலை ஆழத்திற்கும் இடையிலிருக்குமானால் பின்னிணைப்பு 3-ஆலும் குறிக்கப்படுவது வழக்கம்.

இயல்பான ஆழம் எதிர்ச்சரிவு (adverse slope) கால்வாய்களி லும் கிடைக்கால்வாய்களிலும் சாத்தியமில்லையாதலால் A_1, H_1 என்ற வளைகோடுகள் இல்லை. கால்வாயின் சரிவு மாறுநிலையானல் y_n, y_c சமமாகும். ஆகவே, C_2 என்ற பக்கத் தோற்ற வளைகோடு சாத்தியமல்ல. எனவே, மொத்தம் 12 வகை மேற்பரப்பு பக்கத்



படம் 11·17. படிப்படியாக மாறும் ஓட்டத்தின் பக்கத் தோற்றங்கள்

தோற்றங்களே சாத்தியமாகும். திரவ ஓட்டத்தின் தன்மை எப்படிப்பட்டதாக இருப்பினும் அதன் மேற்பரப்புப் பக்கத் தோற்றம் படம் 11·17-ல் உள்ள 12 வகைகளில் ஒன்றாகத்தான் இருக்க வேண்டும். பலநிலைகளுக்கேற்ப உண்டாகும் பல்வேறு தோற்றங்களை ஒருங்கிணைத்து ஒரு ஓட்டத்தின் மேற்பரப்புப் பக்கத் தோற்றத்தை அடையலாம். படம் 11·17-ல் கிடை அளவுவிகிதம் வெகுவாகக் குறைக்கப்பட்டுள்ளது.

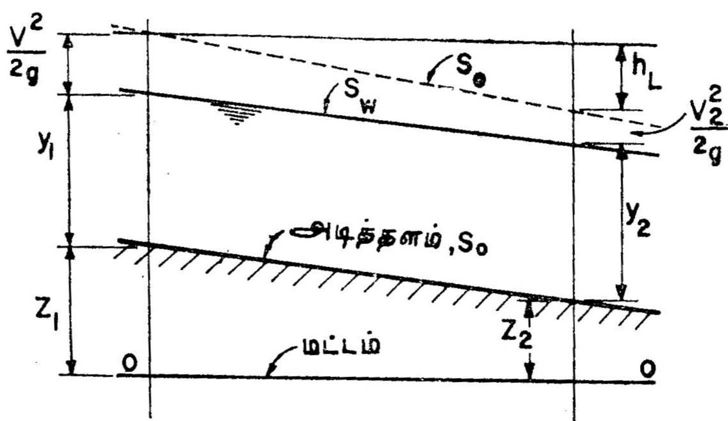
பக்கத் தோற்றங்களில் அதிகமாக நிகழக் கூடிய M_1, M_2 M_3 தோற்றங்களைப் பற்றி விரிவாகப் பார்ப்போம். முதலில், M_1 பக்கத் தோற்றத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். இலேசான சரிவுக்கால்வாயில் இயல்பான ஆழம் மாறுநிலை ஆழத்தைவிட அதிகம்; $F_1 < 1$. எனவே, சமன்பாடு 11·23-ல் அதன் விகுதி நேர்மதிப்புடையது. மேலும் $S_o > S_c$ யாதலால் $\frac{dy}{dx}$-ன் மதிப்பு நேராகும். ஆகவே, ஆழமானது நீரோட்ட திசையில் அதிகரிக்கிறது. y ஆனது y_n-ஐ அடையும்போது S_c, S_0-ஐ அடைகிறது. எனவே, $\frac{dy}{dx}$-ன் மதிப்பு சுழியை எட்டுகிறது. ஆகவே, இயல்பான ஆழமானது வளைகோட்டின் மேற்பாகத்தில் ஈற்றணுகியாகிறது. இந்த மாதிரியான பக்கத் தோற்றம் அணைகளுக்கும் பாலங்களுக்குப் பின்னால் ஏற்படுகிறது. எனவே, இந்த பக்கத் தோற்றம் கட்டுநீர் வளைவுகோடு (backwater curve) என அழைக்கப்படுகிறது. M_2 பக்கத் தோற்றத்தில் $y_n > y > y_c$. சமன்பாடு 11·23-ல் பகுதி எதிராகவும், விகுதி நேராகவும் இருக்கின்றன. ஆதலால் $\frac{dy}{dx}$-ன் மதிப்பு எதிராகும். எனவே, ஆழமானது நீரோட்ட திசையில் குறைந்து கொண்டே வரும். இந்த மாதிரியான பக்கத் தோற்றம் கால்வாயின் முடிவிலும் திடீர் பள்ளத்திலும் ஏற்படுகிறது. M_3 பக்கத் தோற்றத்தில் $y < y_c$. ஆகவே, இந்தச் சமன்பாட்டிலுள்ள விகுதி எதிராகும். $S_c > S_o$ ஆகவும் இருப்பதால் பகுதியும் எதிராக இருக்கிறது. எனவே, $\frac{dy}{dx}$-ன் மதிப்பு நேராகும். நீரின் ஆழமும் நீரோட்ட திசையில் அதிகரித்துக் கொண்டே போகும். இந்த மாதிரியான பக்கத் தோற்றங்கள் மதகுக் கதவுகளை அடுத்து ஏற்படும். M_2, M_3 பக்கத் தோற்றங்களில் y ஆனது y_c-ஐ அணுகும்போது $\frac{dy}{dx}$ வரம்பிலா நிலையடைகிறது. ஆகவே, சமன்பாடு 11·23, y ஆனது y_c மதிப்பை அடையும்போது சரிவராது.

11·28. மேற்பரப்பு பக்கத் தோற்றங்களைக் கணித்தல்

ஒரு கால்வாயின் பல இடங்களில் நீரின் ஆழத்தை அறிய சமன்பாடு 11·23-ஐத் தொகுக்க (integrate) வேண்டும். ஆனால் அச்சமன்பாடு நேர்போக்கற்ற தன்மைத் (non-linear) தானதால் அதைத் தொகுத்தல் எளிதன்று. எனவே, அந்தச் சமன்பாட்டிலிருந்து ஆழத்தை மற்ற வழிகளில் அடைய வேண்டியதிருக்கிறது. பல வழிகள் நுண்கணித (calculus) அடிப்படையில் கண்டுபிடிக்கப்பட்டிருந்தாலும், நேர்படிப்படி முறை (direct step-by-step method) எளிதானதாலும், அதன் துல்லியம் ± 5%-க்குள் இருப்பதாலும், அம்முறை கீழே விவரிக்கப்பட்டுள்ளது. வட்டவில் முறை (circular arc method) முன்னோடி(preliminary) மதிப்பிற்குப் பயன்படுமாதலால் அந்த முறையும் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

11·29. நேர்படிப்படி முறை

கால்வாயானது பல சிறிய சிறிய பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. எந்தப் பகுதியின் ஒரு முனையில் நீரியற் அம்சங்கள் அனைத்தும் தெரியுமோ அந்த முனையிலிருந்து ஆரம்பித்து அந்தப் பகுதியின் மற்ற முனையில் கால்வாயின் நீரியற் அம்சங்கள்



படம் 11·18. நேர்படிப்படி முறை

மானிங் சமன்பாடு கொண்டு கணிக்கப்படுகிறது. கால்வாயின் ஒரு பகுதியின் முனையிலுள்ள திசைவேகம், ஆழம் முதலியனவும், அந்தப் பகுதியின் நீளமும் தெரியுமானால் அந்தப் பகுதியில் மறு முனையில் நீரின் திசைவேகம், ஆழம் இவற்றை கணிக்கலாம்,

படம் 11·18-ல் OO என்ற மட்ட உயரத்திற்கு (datum) மேலுள்ள மொத்த ஆற்றலை கீழே உள்ளவாறு குறிக்கலாம்.

$$Z_1+y_1+\frac{V_1^2}{2g}=Z_2+y_2+\frac{V_2^2}{2g}+h_L$$

இதில் $Z_1-Z_2=S_o\,\triangle x,\ h_L=S_e\,\triangle x$

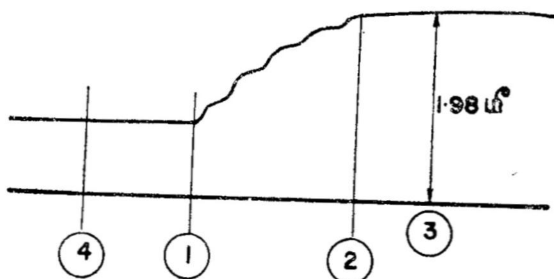
ஆகவே, $$S_o\,\triangle x+y_1+\frac{V_1^2}{2g}=y_2+\frac{V_2^2}{2g}+S_e\,\triangle x$$

$$\triangle x=\frac{\left(y_2+\frac{V_2^2}{2g}\right)-\left(y_1+\frac{V_1^2}{2g}\right)}{S_0-S_e}$$

$$\triangle x=\frac{E_2-E_1}{S_0-S_e} \qquad (11·26)$$

இந்த முறையில் ஒரு பகுதியின் இருமுனையிலும் ஓட்டத்தின் எல்லா அம்சங்களும் தெரியுமானால் அந்தப் பகுதியின் நீளத்தையும் அறிய முடியும். சமன்பாடு 11·26-ல், S_e-ன் மதிப்பைக் கணக்கிட வெட்டுக்கள் 1-1, 2-2-ன் சராசரி மதிப்புக்கள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

மாதிரிக் கணக்கு 11·17. 50-ல் 1 சரிவுள்ள மரத்தாலான வழவழப்பான 2·44 மீ அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் 6·8 மீ³/வி அளவிற்கு நீரானது சீரான ஆழத்தில் ஓடுகிறது. அந்தக் கால்வாயில் ஒரு தடுப்பு கட்டப்பட்ட இடத்தில் நீரின் ஆழம் 1·98 மீ ஆழத்திற்கு உயருகிறது. அந்த தடுப்பிலிருந்து எவ்வளவு தூரத்திற்கு முன்னால் நீரியற் குதிப்பு சாத்தியமாகும்? (மானிங் எண்ணை ஊகித்து உபயோகிக்க.)



$b=2·44$ மீ $\qquad Q=6·8$ மீ³/வி

$S=0·02 \qquad N=0·012$

படத்தில் கால்வாயில் ஓடும் நீரின் அமைப்பு காட்டப் பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு பகுதியிலுள்ள விபரங்களும் (details) அந்தப் பகுதி எண்ணின் பின்னொட்டால் (suffix) குறிக்கப் பட்டுள்ளது. வெட்டு 1-ல் நீரியலாரமானது,

$$R_1 = \frac{2{\cdot}44y_1}{2{\cdot}44+2y_1}$$

மானிங் வாய்பாடைப் பயன்படுத்தி,

$$6{\cdot}8 = \left(\frac{2{\cdot}44y_1}{2{\cdot}44+2y_1}\right)^{\frac{2}{3}} \times \frac{1}{50^{\frac{1}{2}}} \times \frac{1}{0{\cdot}012} \times 2{\cdot}44\ d_1$$

$$\therefore\ y_1 = 0{\cdot}483 \text{ மீ}$$

y_1-ன் மாற்று ஆழமானது,

$$y_2 = -\frac{0{\cdot}483}{4} + \sqrt{\frac{0{\cdot}483^2}{4} + \frac{2\times 2{\cdot}79^2}{9{\cdot}81\times 0{\cdot}483}}$$

$$= 1{\cdot}598 \text{ மீ}$$

மேலும், $V_1 = 1{\cdot}75$ மீ/வி

தடுப்பிற்கு அண்மையில்,

$$y_3 = 1{\cdot}98 \text{ மீ};\ V_3 = 1{\cdot}41 \text{ மீ}$$

$$\frac{V_2{}^2}{2g} = 0{\cdot}155\ ;\ \frac{V_3{}^2}{2g} = 0{\cdot}1013$$

ஆகவே,

$$V_m = 1{\cdot}58 \text{ மீ/வி} \qquad R_m = 0{\cdot}751$$

வெட்டுக்கள் 2-க்கும் 3-க்கு மிடையேயுள்ள தூரம்,

$$L = \frac{\left(\frac{V_3{}^2}{2g}+y_3\right)-\left(\frac{V_2{}^2}{2y}+y_2\right)}{S-\left(\frac{V_m N}{R_m^{\frac{2}{3}}}\right)^2}$$

$$= \frac{(0{\cdot}1013+1{\cdot}98)-(0{\cdot}155+1{\cdot}598)}{0{\cdot}02-\left(\frac{1{\cdot}588\times 0{\cdot}012}{0{\cdot}751^{\frac{2}{3}}}\right)^2}$$

$$= 16{\cdot}8 \text{ மீ}$$

நீரியற் குதிப்பு தடுப்பிற்கு முன்னால் 16·8 மீ தூரத்தில் உண்டாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·18. 2 மீ அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாய் (N=0·012) 2 மீ³/வி நீரைக் கடத்துகிறது. படுகையின் சரிவு 1:2500 ஆகும். இரு இடங்களில் நீரின் ஆழம் 1 மீ, 0·9 மீ ஆனல், அந்த இடங்களுக்குள்ள தூரம் என்ன ?

$b=2$ மீ $\quad Q=2$ மீ³/வி $\quad y_2=0{\cdot}9$ மீ

$N=0{\cdot}012 \quad y_1=1$ மீ $\quad S=\frac{1}{2500}$

இப்போது $\quad R_1=\frac{2}{4}=0{\cdot}5 \quad \frac{V_1^{\,2}}{2g}=0{\cdot}051,$

$$R_2=\frac{1{\cdot}8}{3{\cdot}8}=0{\cdot}474 \quad \frac{V_2^{\,2}}{2g}=0{\cdot}0617$$

இரண்டு இடங்களுக்குமுள்ள தூரம்,

$$L=\frac{\left(\frac{V_2^{\,2}}{2g}+y_2\right)-\left(\frac{V_1^{\,2}}{2g}+y_1\right)}{S-\left(\frac{V_m N}{R^{\frac{2}{3}}}\right)^2}$$

$V_m=1{\cdot}05$ மீ/வி $\qquad R_m=0{\cdot}487$ மீ

ஆகவே,

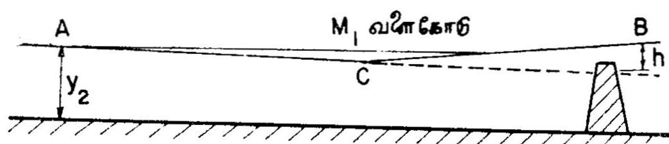
$$L=\frac{0{\cdot}962-1{\cdot}052}{0{\cdot}0004-\left(\frac{1{\cdot}05\times0{\cdot}012}{0{\cdot}487^{\frac{2}{3}}}\right)^2}=\frac{-0{\cdot}089}{0{\cdot}0004-0{\cdot}000416}$$

$$=5562{\cdot}5 \text{ மீ.}$$

11·30. வட்டவில் முறை (Circular Arc Method)

M_1 வளைகோட்டின் மொத்த நீளத்தை இந்த முறையால் அறியலாம். படம் 11·19-ல் காட்டியுள்ளபடி கால்வாயிலுள்ள தடுப்பால் ஏற்படும் ஆழவேறுபாடு h-ஆக இருக்கட்டும். நீர் மட்டத்தில் வரைந்துள்ள தொடுகோடு இயல்பான ஆழத்தை C-ல் சந்திக்கட்டும். இப்போது $AC=AB=\frac{l}{2}$. இதில் l என்பது கட்டுநீர் வளைகோட்டின் நீளம் AB-ஐ வட்டத்தின் வில்லாக மதித்து, BC-யை ஏறக்குறைய கிடையாக இருப்பதாகக் கொண்டு,

$$\tan\theta=\frac{dy}{dx}=\frac{h}{CB}=\frac{2h}{l}$$



படம் 11·19. வட்டவில் முறை

ஆகவே,

$$l = \frac{2h}{\frac{dy}{dx}} \qquad (11\cdot27)$$

$\frac{dy}{dx}$-ன் மதிப்பை சமன்பாடு 11·23-லிருந்து கணக்கிடலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·19. 3 மீ அகலமும் 1 மீ ஆழமும் உள்ள ஒரு ஆற்றின் படுகைச் சரிவு 1:6800. அந்த ஆற்றில் ஒரு தடுப்பு அணை நீரின் உயரத்தை 1·3 மீ ஆழத்திற்கு உயர்த்துமானால், அதனால் உண்டாகும் கட்டுநீர் நீளத்தை (backwater length) கணக்கிடு. மானிங் எண் N=0·03.

$b = 3$ மீ $\qquad N = 0\cdot03$

$y = 1$ மீ $\qquad S = \frac{1}{6800}$

$$R = \frac{3}{5} = 0\cdot6$$

$$Q = \frac{AR^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}}{N} = \frac{3 \times 1 \times 0\cdot6^{\frac{2}{3}}}{0\cdot03} \times \frac{1}{6800^{\frac{1}{2}}} = 0\cdot89 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

தடுப்பு அணை பகுதியில்

$y = (1 + 1\cdot3) = 2\cdot3$ மீ

$b = 3$ மீ

$$\therefore \quad V = \frac{0\cdot89}{2\cdot3 \times 3} = 0\cdot129 \text{ மீ/வி}$$

$$R = \frac{2\cdot3 \times 3}{7\cdot6} = 0\cdot908 \text{ மீ}$$

S' மொத்த ஆற்றல் கோட்டின் சரிவாக இருக்குமானால்,

$$S' = \left(\frac{V \times N}{R^{\frac{2}{3}}}\right)^2 = \left(\frac{0\cdot129 \times 0\cdot03}{0\cdot908^{\frac{2}{3}}}\right)^2$$

$$= 0\cdot000017$$

$$\therefore \quad \frac{dy}{dl} = \frac{0{\cdot}000156 - 0{\cdot}000017}{1 - \dfrac{0{\cdot}129^2}{9{\cdot}81 \times 2{\cdot}3}} = \frac{0{\cdot}000139}{0{\cdot}999215}$$

$$\text{கட்டுநீர் நீளம்} = l = \frac{2y}{\dfrac{dy}{dl}} = \frac{2 \times 1{\cdot}3 \times 0{\cdot}999215}{0{\cdot}000139}$$

$$= 18{,}550 \text{ மீ.}$$

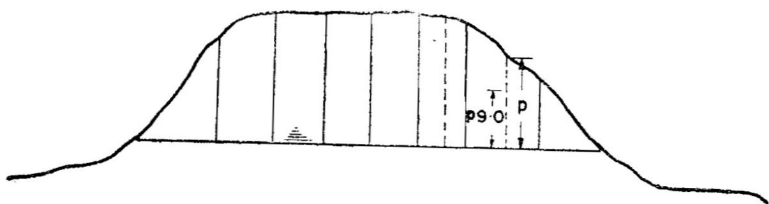
11·31. கால்வாயில் பாயுவீதத்தை அளத்தல்

கால்வாயில் நீரின் பாயுவீதத்தை எவ்வளவு துல்லிதமாக அளக்கவேண்டுமோ அதற்கேற்ப அளவை முறைகளும், கையாளப் படும் கருவிகளும் மாறும். சில அளவை முறைகள் இந்தப் பகுதியில் விளக்கப்பட்டுள்ளன. ஆறுகள், பெரிய கால்வாய்கள் முதலிய வற்றில் பாயுவீதத்தை அளக்க முதற்கண் ஒரு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பில் பல இடங்களில் திசைவேகமானது திசைவேக மானியால் (current meter) அளக்கப்படுகிறது. பின்னர் அதிலிருந்து கிடைக்கும் திசைவேக வளைகோட்டைத் தொகையிட்டால் (integrate) பாயுவீதத்தை அடையலாம். சிறிய ஆறு, கால்வாய் களில் அவைகளின் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பை குறுக்குவதால் ஏற்படும் ஆழ வேறுபாட்டிலிருந்து பாயுவீதத்தைக் கணக்கிடலாம். சோதனைக் கூடங்களில் வெகு துல்லிதமாக பாயுவீதம் தேவைப் படும்போது கலுங்குகள் (notches), சிற்றணைகள் (weirs) முதலிய வற்றால் அளந்தறியலாம்.

11·32. பெரிய நீர்வழிகளில் பாயுவீதத்தை அளத்தல்

நதிகள், பெரிய கால்வாய் முதலியவற்றில் நீரின் பாயு வீதத்தை அளக்க எங்கு நீரின் போக்கு நேர்கோட்டில் இருக் கிறதோ, அந்த இடம் தேர்ந்தெடுத்துக் கொள்ளப்பட வேண்டும். அந்த இடத்திலுள்ள ஒரு நேர் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பின் அமைப்பை ஒரு கனமான கழிகொண்டோ அல்லது ஒரு கனமான எடை எவ்வளவு ஆழம் நீர்மட்டத்திலிருந்து கீழே செல்கிறது என்பதைக் கொண்டோ வரையறுக்கலாம். பின்னர் அந்த குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு, பாயுவீதம் எவ்வளவு துல்லிதத்திற்குத் தேவையோ அதைப் பொறுத்து, பல செங்குத்துப் பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. அந்த ஒவ்வொரு பகுதியின் நடுவிலும் திசை வேகமானது அளவு திருத்தப்பட்ட திசைவேகமானியால் அளக்கப் பட்டு திசைவேகப் பகிர்வு நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. ஆழமானது குறைவாக இருக்குமானால் பிட்டாட் குழாயை (Pitot tube)

பயன்படுத்தலாம். பெரிய கால்வாய்களிலும், நதிகளிலும் பெரும்பாலும் கோப்பைத் திசைவேகமானி (cup current meter) பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஆய்வுகூடங்களில் வெப்பத்தகடு காற்று வேகமானி (hot film anemometer) என்ற நுண்மின் அணு (electronic) சாதனம் பயன்படுத்தப்படுகிறது. திசைவேகப் பகிர்வை அதற்குண்டான பரப்புடன் தொகையிட்டால் அந்தப் பரப்பின் வழி பாயும் நீரின் வீதத்தை அடையலாம். எல்லாப் பகுதிகளின் வழியாகப் பாயும் நீரின் மொத்தத் தொகை, அந்தக் குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பின்வழிபாயும் நீரின் பாயுவீதத்திற்குச் சமமாகும்.



படம் 11·20. நதியின் குறுக்கு வெட்டு அமைப்பு

படம் 11·20-ல் ஒரு குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு எவ்வாறு சமமாக அல்லது சமமற்ற பல பகுதிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டிருக்கிறது என்பது காட்டப்பட்டுள்ளது. இந்த ஒவ்வொரு பகுதியின் நடுவிலும் திசைவேகப் பகிர்வை அளந்தறிவது காலதாமதமானதும் பெருஞ் செலவுடையதுமான பணியாகும். ஆகவே, அந்தப் பகுதிகளிலுள்ள சராசரித் திசைவேகத்தை கீழ்க்கண்ட இரண்டு முறைகளிலும் அடையலாம். இந்த முறையில் துல்லிதம் 2 முதல் 5 சதவீதம் வரை இருக்கும் என எதிர்பார்க்கப்படுகிறது. (அ) ஒரு ஆழமுறை ; நீரின் மேல்மட்டத்திலிருந்து $0{\cdot}6y$ ஆழத்தில் ஒரு பகுதியின் நடுவில் திசைவேகமானியால் அளந்தறியப்படும் திசைவேகம், அந்தப் பகுதிக்கு சராசரித் திசைவேகமாகக் கொள்ளப்படுகிறது. (ஆ) இரு ஆழமுறை: நீரின் மேல்மட்டத்திலிருந்து ஒரு பகுதியின் நடுக்கோட்டில் $0{\cdot}2y$, $0{\cdot}8y$ ஆழங்களிலுள்ள திசைவேகங்களின் சராசரி அந்தப் பகுதியிலுள்ள சராசரித் திசைவேகமாகக் கொள்ளப்படுகிறது.

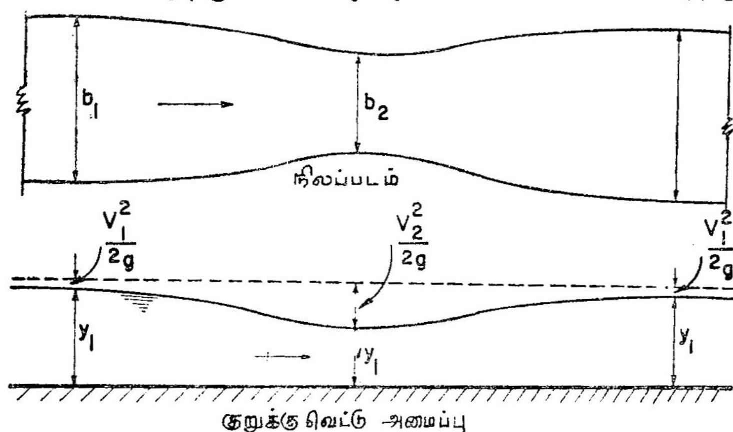
11·33. கால்வாய்களில் இறுக்கம் (Constrictions in Canals)

கால்வாய்களின் அகலத்தில் அல்லது உயரத்தில் அல்லது இரண்டிலும் ஏற்படும் இறுக்கமானது கால்வாயில் பாயும் நீரின் ஆழத்தை மாற்றும். இந்த மாற்றத்தைப் பயன்படுத்தி நீரின்

பாயுவீதத்தைக் கணக்கிடலாம். இறுகிய பகுதியில் நீரின் திசைவேகம் மாறுநிலை உடையதானால் அதற்கு மாறுநிலை ஆழக் கால்வாய் (critical depth canal) அல்லது நீரியற்குதிப்புக் கால்வாய் (standing wave canal) அல்லது அமைப்பான கால்வாய் (modular canal) எனப்பெயர். திசைவேகம் மாறுநிலை உடையதாக இல்லாவிட்டால் அதற்கு அமைப்பற்ற (non-modular canal) கால்வாய் எனப்பெயர். அமைப்பற்ற கால்வாயின் வடிவமைப்பு வெஞ்சுரி மானிக்குச் சமமாதலால் அது வெஞ்சுரி கால்வாய் (Venturi flume) எனப்படுகிறது.

11·34. வெஞ்சுரி கால்வாய்

படம் 11·21-ல் காட்டப்பட்டுள்ள கிடைப்படுகையுள்ள, மெதுவாக அகல மாறுதலுடைய வழவழப்பான கால்வாயை எடுத்துக்



படம் 11·21. வெஞ்சுரி கால்வாய்

கொள்வோம். சுருங்கிய நேரான பகுதிக்குத் தொண்டை (throat) எனப்பெயர். வெஞ்சுரி கால்வாய்க்கு முன்புறமும், தொண்டைப் பகுதியிலும் ஓட்டமானது சாந்தமாக (mild) அதாவது கீழ்ப்பட்ட மாறுநிலையிலுள்ளது. அவற்றின் ஆழங்கள் முறையே y_1, y_2-ஆக இருக்கட்டும். தொண்டையிலுள்ள y_2 ஆழம் y_c-யைவிட அதிகமாக இருக்கும். திசைவேகப் பகிர்வு சீராக இருப்பதாகக் கொண்டு, ஆற்றலிழப்பைப் புறக்கணித்து, பெர்னௌலித் தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தினால்,

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

$$y_1 - y_2 = \frac{V_2^2}{2g}\left\{1 - \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2\right\}$$

இதில் $a_1 = b_1 y_1$, $a_2 = b_2 y_2$.

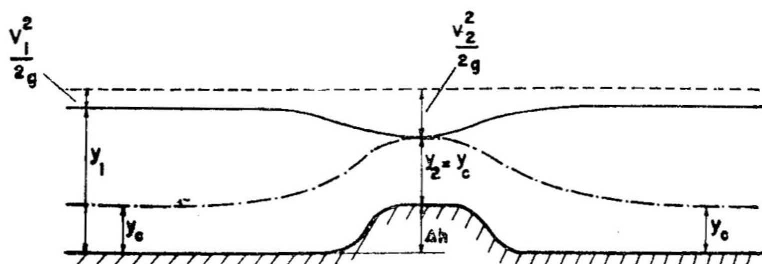
இப்போது

$$V_2 = \frac{a_1}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \sqrt{2g(y_1 - y_2)}$$

பாயுவீதம்

$$Q = a_2 V_2 = \frac{a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \sqrt{2g(y_1 - y_2)} \qquad (11{\cdot}28)$$

ஆனால் கால்வாயிலுள்ள பாயுவீதமானது மேலே கொள்கையளவில் அடைந்ததைவிடச் சிறிது குறைவாக இருக்கும். பாயுவீதக் கெழு (discharge coeffiecient) C_d-ன் மதிப்பு 0·95 முதல் 0·99 வரை நன்கு நிர்மாணிக்கப்பட்ட அமைப்புகளில் இருக்கும். இந்தச் சமன்பாட்டிற்கும் வெஞ்சுரிமானி சமன்பாட்டிற்குமுள்ள ஒருமைப்பாடு நோக்கற்பாலது.



படம் 11·22. கால்வாயின் படுகை மட்டம் மாறுதல்

கால்வாயின் படுகை மட்டம் மாறினாலும் மேலே விளக்கப்பட்டவாறு பாயுவீதத்தைக் கணக்கிடலாம். கால்வாயின் இறுக்கத்தில் நீரின் ஆழமானது மாறுநிலை ஆழத்தைவிட அதிகமாக இருக்குமானால் படம் 11·22-ல் காட்டிய அமைப்பிற்குப் பாயுவீதமானது,

$$Q = \frac{C_d a_1 a_2}{\sqrt{a_1^2 - a_2^2}} \sqrt{2g\left\{y_1 - (y_2 + \triangle h)\right\}} \qquad (11{\cdot}29)$$

எனக் காட்டலாம். கொடுக்கப்பட்டுள்ள வெஞ்சுரி கால்வாயின் அமைப்பிற்கு y_1, y_2 என்ற ஆழங்களின் அளவுகளை மட்டும் அளந்தறிந்து பாயுவீதத்தைக் கணக்கிடமுடியும்.

11·35. மாறுநிலே ஆழ மானி (Critical Depth Meter)

கால்வாயின் இறுக்கப் பகுதியில் நீரின் ஆழம் மாறுநிலே ஆழமாயிருக்குமானுல் அத்தகைய அமைப்பிற்கு மாறுநிலே ஆழ மானி எனப் பெயர். பக்கவாட்டில் குறுக்கியோ, அல்லது அடித்தள மட்டத்தை உயர்த்தியோ அல்லது இரண்டு முறைகளேயும் ஒரே நேரத்தில் கையாண்டோ இப்படிப்பட்ட அமைப்பை உண்டாக்கலாம்.

படுகையைக் கிடையாக வைத்துக்கொண்டு பக்கங்களே மட்டும் குறுக்கிய அமைப்பை எடுத்துக் கொள்வோம். தொண்டை பகுதியில் மாறுநிலே ஆழமாக இருக்கும்போது ஒரு கொடுக்கப்பட்ட தன் ஆற்றலுக்குப் பாய்ந்து செல்லும் நீரின் அளவுவீதமும் பெருமமாக இருக்கும் எனக் காட்டலாம். பெர்னுலித் தேற்றத்தை படம் 11·21-ல் வெட்டுமுகங்கள் 1, 2-ல் பயன்படுத்தினுல்,

$$E=y_1+\frac{V_1^2}{2g}=y_2+\frac{V_2^2}{2g}$$

$$V_2=\sqrt{2g\,(E-y_2)}$$

மேலும் $Q=C_d\,b_2\,y_2\,\sqrt{2g\,(E-y_2)}$

கொடுக்கப்பட்டுள்ள தன் ஆற்றலான E-க்குப் பாயுவீதமானது பெருமமாக இருக்கவேண்டுமானுல்

$$\frac{dQ}{dy}=0$$

அதாவது $$2E-3y_2=0$$

$$y_2=\tfrac{2}{3}E$$

ஆகவே,

$$\frac{V_2^2}{2g}=\frac{1}{3}E=\tfrac{1}{2}y_2$$

மேலும்,

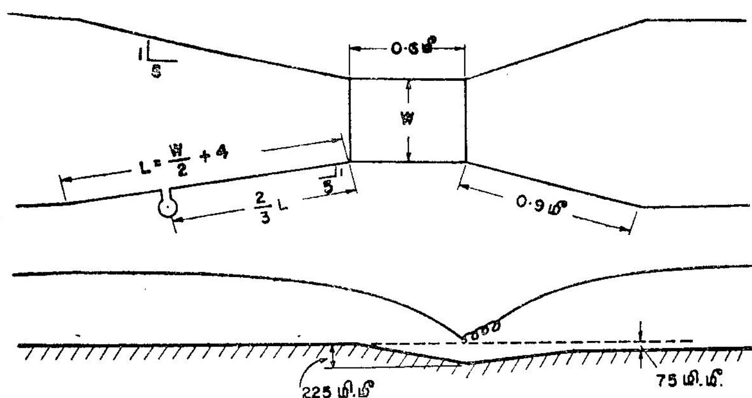
$$\frac{V_2}{\sqrt{gy_2}}=1$$

ஆகவே, தொண்டைப் பகுதியில் ஓட்டமானது மாறுநிலேயுடைத்து. அந்தப் பெரும பாயுவீதமானது

$$Q_{\text{பெரும}}=C_d\sqrt{2g}\,\tfrac{2}{3}E\,(E-\tfrac{2}{3}E)^{\frac{1}{2}}$$

$$=1{\cdot}71\;C_d\,b_2\,E^{\frac{3}{2}} \qquad (11{\cdot}30)$$

V_1-ன் மதிப்பு சுழியை எட்டும் போது, $E=y_1=\frac{3}{2}y_2$ ஆகும். ஆகவே, தொண்டைப் பகுதியிலுள்ள ஆழம் மட்டும் தெரிந்தால் நீரின் பாயுவீதத்தைக் கணக்கிடலாம். இந்த அமைப்பு பலவிதப் பட்ட நீரோட்டங்களுக்குப் பயன்படுமாறு இருக்க அதன் அடித் தளத்தில் சிறிது சரிவு கொடுத்து எப்போதும் நீரோட்டமானது இறுகிய பாகத்தில் மாறுநிலை உடையதாக இருக்கும்படி செய்யப் பட்டுள்ள அமைப்பிற்கு பார்ஷெல் கால்வாய் (Parshall flume) எனப் பெயர். இதன் பொதுப்படையான அமைப்பு படம் 11·23-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதன்வழி பாயும் நீரின் வீதம் கீழ்க்கண்ட அனுபவச் சமனியால் அறியப்படும்.



படம் 11·23. பார்ஷெல் கால்வாய்

$$Q=1{\cdot}22W(0{\cdot}3048h)^{1{\cdot}48W^{0{\cdot}026}}$$

இதில் Q பாயுவீதத்தை மீ³/வி-லும், W அகலத்தை மீட்டரிலும் h மேற்புற ஆழத்தை மீட்டரிலும் குறிக்கும். இக்கால்வாயை நிர்மாணிக்கத் தேவையான விபரங்களை இதுபற்றி விளக்கமாக எழுதப்பட்டுள்ள நூல்களிலிருந்து அறிந்து கொள்ளலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·20. ஒரு வெஞ்சுரி கால்வாய் 1 மீ அகலத்திலிருந்து 0.8 மீ அகலத்திற்குக் குறுகுகிறது. தொண்டைப் பகுதிக்கு மேற்புறம் நீரின் ஆழம் 0·5 மீ. பாயுவீதம் 0·4 மீ³/வி. தொண்டைப் பகுதியில் எவ்வளவு அதிகப்படியாயுள்ள திட்டு மேற்புற நீரின் ஆழத்தை அதிகப்படுத்தாது என்பதைக் கணக்கிடவும்.

திட்டு உச்ச உயரமாக இருக்கத் தொண்டைப் பகுதியில் மாறுநிலைத் தன்மை நிலவ வேண்டும்.

$$\left.\begin{array}{r}\text{ஒரு அலகு அகலத்திற்கு தொண்டைப்}\\ \text{பகுதியில் பாயுவீதம்}\end{array}\right\} = \frac{0{\cdot}4}{0{\cdot}8} = 0{\cdot}5 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{0{\cdot}5^2}{9{\cdot}81}} = 0{\cdot}294 \text{ மீ}$$

ஆகவே, $E_c = \frac{3}{2} \times 0{\cdot}294 = 0{\cdot}441$ மீ

$$\text{மொத்த உயரம் அல்லது தலைப்பு} = 0{\cdot}5 + \frac{0{\cdot}8^2}{2 \times 9{\cdot}81}$$

$$= 0{\cdot}533 \text{ மீ}$$

திட்டின் உயரம் x-ஆக இருக்கட்டும். பின்னர்

$$0{\cdot}533 = 0{\cdot}441 + x$$

$$x = 0{\cdot}092 \text{ மீ.}$$

11·36. ஆழத்தில் இறுக்கம் (Constriction in Depth)

ஒரு கால்வாயின் படுகையில் ஒரு பகுதியை உயர்த்திக் கொண்டே போனால், படம் 11·22-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது போல், அவ்வாறு உயர்த்தப்படும் பகுதியில் ஆழம் மாறுநிலை ஒரு குறிப்பிட்ட உயரத்திற்கு அடையும். அந்தத் திட்டானது (hump) அகலமாக இருக்குமானால் அது நீரின் மேற்பரப்பிற்கு இணையாக இருக்கும். ஆழம் மாறுநிலை அடைந்த பின்னர் திட்டானது உயர்த்தப்பட்டால் முன்புறமுள்ள நீரின் ஆழம் அதிகரிக்கும். கொடுக்கப்பட்ட தன் ஆற்றல் சிறுமமாக இருக்க முன்போல் பாயுவீதத்தை அடையலாம். பாயுவீதமானது,

$$Q = 1{\cdot}71 C_d b E^{\frac{3}{2}} = 1{\cdot}71 C_d b\left(y_c + \frac{V_c^2}{2g}\right)^{\frac{3}{2}} \qquad (11{\cdot}31)$$

கால்வாயின் சொரசொரப்பு, நீரோட்டத்தின் வளைவு முதலியவற்றை இந்தக் கணப்பில் எடுத்துக் கொள்ளவில்லை. எனவே, C_d என்ற பாயுவீதக் கெழு சமன்பாட்டில் சேர்க்கப் பட்டிருக்கிறது. நன்கு நிர்மாணிக்கப்பட்டுள்ள அமைப்புகளில் இதன் மதிப்பு 0·95 முதல் 0·99 வரை இருக்கும். இருந்தபோதிலும் இப்படிப்பட்ட அமைப்புகள் அளவு திருத்தம் செய்யப்பட்ட பின்னரே பயன்படுத்தப்பட வேண்டும். இந்தத் திட்டிலிருந்து நீரானது தானே விழுமானால் வடிகால் சமனியைப் (weir equation) பயன்படுத்தலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·21. நீண்ட சதுர வெட்டுப் பரப்புள்ள கால்வாயில் 2 மீ ஆழத்தில், 2·5 மீ/வி திசைவேகத்தில் நீர் ஓடுகிறது.

கால்வாயின் அகலம் 3 மீ-லிருந்து 2 மீ-ஆக இறுக்கப்பட்டு, அடித்தள உயரம் இறுக்கப்பட்ட பகுதியில் 0·3 மீ உயர்த்தப்பட்டால் தொண்டைப் பகுதிக்கு மேற்புறம் நீரின் ஆழம் எவ்வளவு அதிகமாகும்?

நீரின் மொத்தப் பாயுவீதம் $Q = 2{\cdot}5 \times 2 \times 3 = 15$ மீ³/வி

இறுக்கப்பட்ட பகுதியில் $q = \frac{15}{2} = 7{\cdot}5$ மீ³/வி/மீ

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{7{\cdot}5^2}{9{\cdot}81}} = 1{\cdot}785 \text{ மீ}$$

ஆகவே,

$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{1{\cdot}785}{2} = 0{\cdot}892 \text{ மீ}$$

ஆற்றலிழப்பைப் புறக்கணித்துவிட்டு, பெர்னுலித் தேற்றத்தை பயன்படுத்தினுல்,

$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = 0{\cdot}3 + 1{\cdot}785 + 0{\cdot}892$$
$$= 2{\cdot}977$$

இப்போது

$$V_1 = \frac{15}{3 \times y_1}$$

ஆகவே,

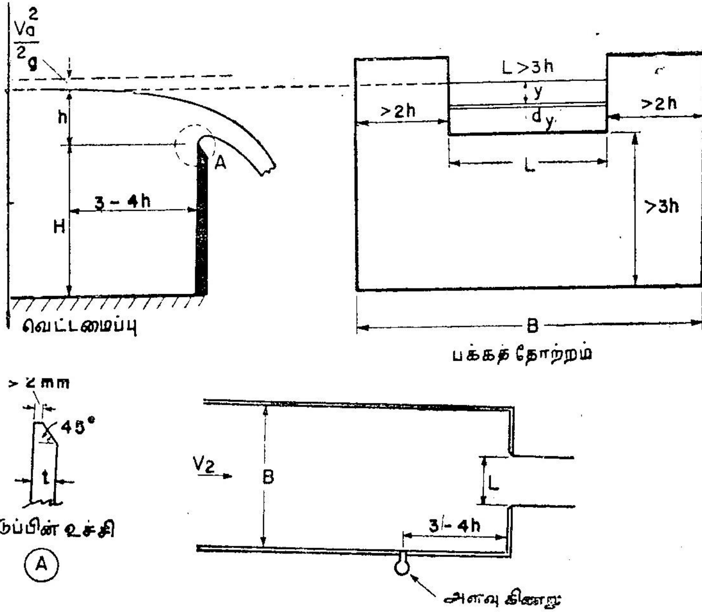
$$y_1 + \left(\frac{15}{3y_1}\right)^2 \frac{1}{2g} = 2{\cdot}977$$
$$y_1 = 2{\cdot}81 \text{ மீ}$$

எனவே, ஆழமானது 0·81 மீ அதிகரிக்கும்.

11·37. கலுங்குகளும் சிற்றணைகளும் (Notches and Weirs)

ஒரு வாய்க்காலிலுள்ள தடையின் மேல் வழியாக நீரானது பாய்ந்து செல்லுமானுல் அந்தத் தடையை கலுங்கு அல்லது சிற்றணை என்று அழைக்கிறேம். இப்பகுதியில் கலுங்கு, சிற்றணை என்ற சொற்கள் ஏறத்தாழ ஒரே பொருளில் பயன் படுத்தப்படுகின்றன. இந்தத் தடையானது மெல்லியதாக இருக்குமானுல் அதற்குக் கலுங்கு என்றும், கனமானதாக இருக்கு மானுல் சிற்றணை என்றும் சில வேளைகளில் பாகுபடுத்தப்படுகிறது. தடுப்பானது அமைப்பின் அடிப்படையில் நீண்ட சதுர, முக்கோண சரிவகத் தடுப்பு என அழைக்கப்படுகிறது. ஒரு நீண்ட சதுர

குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புடைய கால்வாயில் அதன் முழு அகலத்திற்கும் ஒரு தடுப்பைப் பொருத்த முடியும். அப்படி அமைக்கப்பட்ட தடுப்பிலிருந்து வழியும் நீரானது அக்கால்வாயின் பக்கங்களால் பாதிக்கப்படுவதில்லே. அத்தகைய தடுப்பிற்குப் பாதிப்பற்ற தடுப்பு (suppressed weir) எனப் பெயர். நீரோட்ட திசையில் தடுப்பிற்குப் பின்னுள்ள நீரின் மேல்மட்டம் கலுங்கின் முகட்டிற்கு(notch crest) அதிகப்படியான உயரத்திலிருக்குமானுல் அந்த அமைப்பிற்கு மூழ்கியதடுப்புஅல்லது மூழ்கியசிற்றணே(drowned weir)எனப்பெயர்.



படம் 11·24. கலுங்கும், அதன் அமைப்பும்

தடுப்பு செய்வதற்குப் பயன்படுத்தப்படும் உலோகத் தகடு உறுதியுடையதாகவும், உபயோகத்தால் அதன் முகடு உருக்குலேயாமலும் இருக்கவேண்டும். படம் 11·24-ல் தடுப்பின் அமைப்பும், அது அமைக்கப்பட வேண்டிய முறையும் காட்டப்பட்டுள்ளன. அதன் முகடு 2 மிமீ கனத்திற்கு அதிகமில்லாமல் இருந்தால் (அல்லது கலுங்கின் நீர்ப்பாக முனேயிலிருந்து மட்டும் தாரையின் அடிப்பாகம் பாய்ந்தால்) கூரிய முகட்டுடைய (sharp crested) கலுங்கு அல்லது சிற்றணே என அழைக்கப்படுகிறது. பலவகை அமைப்புகளேயுடைய கலுங்குகளுக்குப் பலவித நிலேகளில் அவற்றின் வழியுண்டாகும் பாயுவீதத்தை எவ்வாறு கணக்கிடலாம் என்பதை பார்ப்போம்.

11·38. நீண்ட சதுர சிற்றணை (Rectangular Weir)

ஒரு நீர்க்காலின் (flume) முடிவிலுள்ள நீண்ட சதுர வடிகாலின் அமைப்பு முறை படம் 11·24ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. நீர்க்காலின் அகலம் B-யும், தடுப்பின் நீளம் L-ம் ஆகும். திரவமானது தடுப்பை அணுகும்போது முடுக்கமடைவதால் அதன் முகட்டிற்கு மேலுள்ள ஆழமானது திசைவேகத்தின் அதிகரிப்பைச் சரிக்கட்ட குறைகிறது. தடுப்பின்வழி பாயும் திரவத்தின் உயரம் h ஆனது திரவ மேல் மட்ட மாறுபட்டால் பாதிக்கப்படாத இடத்தில் சிற்றணையிலிருந்து 3h முதல் 4h தூரத்திற்கு முன்னால் அமைக்கப்பட வேண்டும்.

திரவ மேல் மட்டத்திலிருந்து y ஆழத்தில் Ldy என்ற சிறிய பரப்பின் வழியாகப் பாயும் திரவத்தின் வீதத்தைக் கணக்கிட்டால்,

$$\text{பாயுவீதம் } dq = L\, dy \sqrt{2gy}$$

$$\text{மொத்த பாயுவீதம் } Q = L\sqrt{2g}\int_0^h y^{\frac{1}{2}} dy$$

$$= \tfrac{2}{3} L \sqrt{2g}\, h^{\frac{3}{2}}$$

உண்மையான (actual) பாயுவீதமானது கொள்கைரீதியில் அடையப்பட்ட பாயுவீதத்தைவிடக் குறைவாக இருக்கும். கீழ்க் கண்டவற்றால் ஏற்படும் விளைவுகளை எடுத்துக் கொள்ளாததால் இக்குறைபாடு ஏற்படுகிறது. (1) வடிகாலின் நீளம் L, நீர்க்காலின் அகலம் B-க்குக் குறைவாக இருத்தல். (2) அணுகும் திசைவேகம். (3) $\frac{h}{H}$ விகிதம். (4) தடுப்பானது அடித்தளத்திற்கு சாய்ந்திருத்தல். (5) திசைவேகப் பகிர்வு சீரற்றதாக இருத்தல். (6) பாய்ச்சலிலுள்ள கொந்தளிப்புத் தன்மை. (7) பரப்பு இழுவிசையும், திரவப் பிசுபிசுப்பும்.

கொள்கைரீதியில் அடையப்பட்ட பாயுவீதத்தை C_d என்ற பாயுவீதக் கெழுவால் பெருக்கினால் உண்மைப் பாயுவீதத்தை அடையலாம். அதாவது,

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g}\, L\, h^{3/2} \tag{11·32}$$

மேலே குறிப்பிடப்பட்டுள்ள சில விளைவுகளை நாம் எடுத்துக் கொண்டால் பாயுவீதமானது எவ்வாறு மாறும் என்பதைக் கீழே பார்ப்போம்.

பக்க விளைவுகள் (Side Effects) : படம் 11·23-ல் காட்டப்பட்டுள்ளதுபோல் நீண்ட சதுர வடிவுடைய கலுங்கானது ஓர் நீர்க்காலின் கடையில் இருக்குமானால், L < B-ஆக இருப்பதால், கலுங்கின் மேலே பாய்ந்து வழியும் அதன் நீளத்தின் கலுங்கின் நீளமான L-ஐவிடக் குறைவாக இருக்கும். பிரான்சிஸ் என்ற அமெரிக்கர் 0·20 மீ முதல் 0·47 மீ வரை h மதிப்புள்ள பல சோதனைகளிலிருந்து C_d-யின் மதிப்பை கீழ்க் கண்ட அனுபவச் சமன்பாட்டால் விளக்கினார்.

$$C_d = \frac{0{\cdot}623(L-0{\cdot}1nh)}{L}$$

ஆகவே,

$$Q = \tfrac{2}{3} \times 0{\cdot}623\ (L-0{\cdot}1nh)\sqrt{2g}\ h^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = 1{\cdot}84\ (L-0{\cdot}1n\,h)\,h^{\frac{3}{2}} \qquad (11{\cdot}33)$$

இதில் n என்பது பக்க இறுக்கங்களின் எண்ணிக்கையைக் குறிக்கும். கலுங்கின் நீளமானது நீர்க்காலின் அகலத்திற்குச் சமமாக இருக்குமானால் n-ன் மதிப்பு சுழியாகும். அப்படிப்பட்ட தடுப்பு பாதிப்பற்ற தடுப்பு என அழைக்கப்படும்.

அணுகு திசைவேகம் : பாயும் திரவத்திலுள்ள திசைவேக ஆற்றலை அணுகு திசைவேக உயரமாக அதாவது $a\frac{V^2}{2g}$ என்று எழுதலாம். இதில் a என்பது ஆற்றற்கெழு ஆகும். இந்த அணுகு திசைவேக உயரம் திரவத்தின் பாயுவீதத்தை அதிகரிக்கும். பிரான்சிஸ் அணுகு திசைவேகத்தையும் எடுத்துக்கொண்டு சமன்பாடு 11·33-ஐக் கீழ்க்கண்டவாறு மாற்றினார்.

$$Q = 1{\cdot}84(L-0{\cdot}1nh)\left[(h+h_a)^{\frac{3}{2}} - h_a^{\frac{3}{2}}\right] \qquad (11{\cdot}34\text{-அ})$$

பாதிப்பற்ற வடிகால்களில்,

$$Q = 1{\cdot}84L\left[(h+h_a)^{\frac{3}{2}} - h_a^{\frac{3}{2}}\right] \qquad (11{\cdot}34\text{-ஆ})$$

இதில் $h_a = a\frac{V^2}{2g}$ ஆகும்.

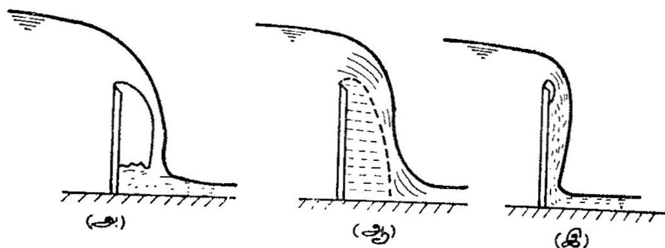
கலுங்கின் ஒப்பு உயரம் : பாயுவீதக் கெழுவின் மதிப்பு கலுங்கின்வழி பாயும் திரவத்தின் உயரம் h, கால்வாயின் அடித்தளத்

திலிருந்து கலுங்கின் முகட்டிற்குள்ள உயரம் H ஆகியவற்றின் விகிதத்தைப் பொறுத்தது. ரெஹ்பாக் (Rehbock) என்ற ஜெர்மானியப் பொறியாளர் h/H, திரவத்தின் பிசுபிசுப்பு, புறப் பரப்பு இழுவிசை முதலியவற்றின் விளைவுகளையும் எடுத்துக் கொண்டு நன்ருகக் காற்ருேட்ட வசதியுள்ள, பாதிப்பற்ற வடிகால் களுக்குக் கீழேயுள்ள அனுபவ சமன்பாட்டைக் கண்டறிந்தார்.

$$Q = \tfrac{2}{3}\left(0{\cdot}605 + \frac{1}{995h} + \frac{0{\cdot}08h}{H}\right) L\sqrt{2g}\, h^{\frac{3}{2}} \qquad (11{\cdot}35)$$

பிரான்சிஸ், ரெஹ்பாக் சமனிகள் பொறியியற் துறையில் பழக்கத்தி லுள்ளன.

காற்ருேட்டம் (Aeration) : கலுங்கின் முகட்டிலிருந்து வழியும் தாரையினது (nappe)அடிப்பாகமும், மேற்பாகமும் ஒரே அழுத்த நிலையிலிருக்க வேண்டியது அவசியம். பாதிப்பற்ற சிற்றணைகளில் தாரையின் அடிப்பாகத்தில் மேற்பாகத்தைவிடக் குறைவான காற்றழுத்தம் ஏற்படுவது சாத்தியம். இவ்வாறு ஏற்பட்டால் தாரையானது கீழே படம் 11·25 (அ)-ல் உள்ளது போல் கீழே ஈர்க்கப்படுகிறது. அதற்குத் தாழ்த்தப்பட்ட தாரை (lowered nappe) எனப் பெயர். இதனுல் பாயுவீதமானது 6 சதவீதம்



படம் 11·25. தாரையின் பல வகைகள்

அதிகரிக்கும். அடிப்பாகத்திலுள்ள காற்ருனது படிப்படியாக நீக்கப்பட்டு அந்த பாகம் முழுவதும் திரவத்தால் ஆக்கிர மிக்கப்படுமானுல் பாயுவீதம் 10 முதல் 15 சதவீதம் வரை அதிகரிக்கும். இது தாழ்த்தப்பட்ட தாரை (drowned nappe) என அழைக்கப்படுகிறது. h-ன் மதிப்பு குறைவாக இருக்கு மானுல் படம் 11-25 (இ)-ல் காட்டப்பட்டுள்ளதுபோல் தாரை தடுப்பை ஒட்டிக் கொண்டு வழிகிறது. இந்நிலையில் பாயு வீதம் 20 முதல் 30 சதவீதம் வரை அதிகரிக்கிறது. இதற்கு ஒட்டு தாரை (clinging nappe) எனப் பெயர். தாரையின் அடிப்பாகத் திலுள்ள காற்ருனது திரவ ஓட்டத்தால் நீக்கப்படுகிறது. நல்ல

காற்றோட்டமான அமைப்பில் இவ்வாறு நீக்கப்படும் காற்றானது உடனுக்குடன் திரும்பவும் நிரப்பப்படுகிறது. அவ்வாறு காற்றானது ஈடுசெய்யப்படாவிட்டால் தாரையானது நிலைத்தன்மைத்துடைய தாக இராது; தாரை தடுப்பை வேகமாக விட்டு விட்டு மோதலாம்; C_d-யின் மதிப்பு ஒரே சீராக இராது.

மாதிரிக் கணக்கு 11·22. 3 மீ அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயின் முழு அகலத்திற்கும் 1 மீ உயரமுள்ள கூரிய முனையான முகட்டுடைய கலுங்கு இருக்கிறது. அந்தத் தடுப்பின் வழி பாயும் நீரின் உயரம் 0·45 மீ. பிரான்சிஸ், ரெஹ்பாக் வாய் பாடுகளைப் பயன்படுத்தி பாயுவீதத்தைக் காண். இந்த இரண்டு பாயுவீதங்களுக்குமுள்ள சதவீத வேறுபாடு என்ன ?

முழு அகலத்திற்கும் சிற்றணை இருப்பதால் அது பாதிப்பற்ற வடிகாலாகும். ஆகவே, $n=0$.

பிரான்சிஸ் சமன்பாட்டில் அணுகு திசைவேக உயரத்தைப் புறக்கணித்துவிட்டு,

$$Q=1{\cdot}84\times3\times0{\cdot}45^{\frac{3}{2}}=1{\cdot}67 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

ஆதலால்

$$V_a=\frac{1{\cdot}67}{3\times1{\cdot}45}=0{\cdot}383 \text{ மீ/வி}$$

$$\frac{V_a^2}{2g}=\frac{0{\cdot}383^2}{2\times9{\cdot}81}=0{\cdot}008\ m$$

அணுகு திசைவேகத்தை எடுத்துக் கொண்டால்,

$$Q=1{\cdot}84\times3\left\{(0{\cdot}45+0{\cdot}008)^{\frac{3}{2}}-0{\cdot}008^{\frac{3}{2}}\right\}$$

$$=1{\cdot}7 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

வேறுபாடு அதிகமில்லையாதலால், மேலும் Q-ன் மதிப்பைச் சரிப் படுத்த வேண்டியதில்லை.

ரெஹ்பாக் சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தினால்,

$$H=1 \text{ மீ},\ h=0{\cdot}35 \text{ மீ},\ L=3 \text{ மீ}$$

$$Q=\tfrac{2}{3}\left\{0{\cdot}605\times\frac{1}{995\times0{\cdot}45}+\frac{0{\cdot}08\times0{\cdot}45}{1}\right\}3\times\sqrt{2g}\times0{\cdot}45^{\frac{3}{2}}$$

$$=1{\cdot}72 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

பிரான்சிஸ் சமன்பாட்டோடு ஒப்பிடும்போது பாயுவீத மாறு பாடு 1·17 சதவீதமாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·23. ஒரு கலுங்கிலிருந்து வழியும் தாரை யின் அடிப்பாகத்திலுள்ள காற்று வளிமண்டல அழுத்தத்தில் இருக்கப் போதுமான காற்றேட்டம் தேவை. சோதனைகள் மூலம் நீரின் பாயுவீதத்தில் 2 சதவீதம் காற்றேட்டம் தேவை எனக் கண்டு பிடிக்கப்பட்டிருக்கிறது. தாரையின் அடிப்பாகத்தில் காற்றழுத்தமானது வளிமண்டல அழுத்தத்திற்கு 3 மிமீ நீரின் உயரத்திற்குக் குறைவாக இருக்கக் கூடாதென்றால் தேவையான காற்று துளையின் குறைந்த பட்ச விட்டமென்ன? துளையின் பாயு வீதக்கெழு $C_d = 1$. தடுப்பின் வழிபாயும் நீரின் உயரம் 0·5 மீ. பாதிப்பற்ற நீண்ட சதுரத் தடுப்பின் நீளம் 2 மீ. காற்றின் வெப்ப நிலை 30°C.

அணுகு திசைவேகத்தைப் புறக்கணித்துவிட்டு,

$$Q = 1{\cdot}84 L\, h^{\frac{3}{2}} = 1{\cdot}84 \times 2 \times 0{\cdot}5^{\frac{3}{2}} = 1{\cdot}3 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

ஆகவே, காற்று தேவை $Q_a = 1{\cdot}3 \times 0{\cdot}02 = 0{\cdot}026$ மீ³/வி

காற்றேட்டத்திற்கான தலைப்பு$= \dfrac{3}{1000} \times \dfrac{1000}{1{\cdot}16} = 2{\cdot}58$ மீ காற்று

துளையின் விட்டம் d என எடுத்துக்கொண்டு,

$$Q_a = C_d \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2gh}$$

$$0{\cdot}026 = 1 \times \frac{\pi \times d^2}{4} \sqrt{2 \times 9{\cdot}81 \times 2{\cdot}58}$$

$$d^2 = \frac{0{\cdot}026 \times 4}{\pi \times 7{\cdot}1} = 0{\cdot}00466$$

$$d = 0{\cdot}0684 \text{ மீ} = 68{\cdot}4 \text{ மிமீ}.$$

மாதிரிக் கணக்கு 11·24. நீர்ப்பாசனத்திற்குப் பயன்படும் குளத்திலிருந்து சிற்றணை வழியாகப் பாயும் நீரின்வீதம் 35 மீ³/வி ஆகும். இந்தப் பாயுவீதத்தை 0·4 மீ உயரத்தில் கடத்தப் போது மான சிற்றணையின் நீளம் என்ன?

பிரான்சிஸ் சமனியைப் பயன்படுத்தவும்.

$Q = 35$ மீ³/வி $\quad h = 0{\cdot}4$ மீ $\quad n = 2$

அணுகு திசைவேகம் புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு சிறியதாக இருக்குமாதலால்,

$$Q = 1{\cdot}84(L - 0{\cdot}1nh)\, h^{\frac{3}{2}}$$

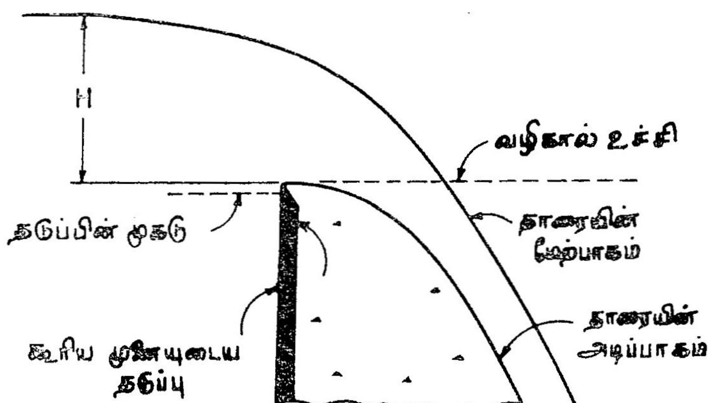
$$= 1{\cdot}84(L - 0{\cdot}1 \times 2 \times 0.4) 0{\cdot}4^{\frac{3}{2}}$$

$$\therefore\ L = 75{\cdot}38 \text{ மீ.}$$

ஆகவே, 75 மீ நீளத்தில் நிர்மாணிக்கலாம்.

11·39. வழிகால் (Spillway)

கட்டிட அமைப்புடைய அணையிலிருந்து அதிகப்படியான நீர் வழியும் பாகத்திற்கு வழிகால் எனப்பெயர். இந்த வழிகாலின் பக்கத் தோற்ற அமைப்பானது நல்ல காற்றோட்ட வசதியுள்ள கலுங்குத் தாரையின் அடிப்பாகத்தைப் போன்று இருக்கும். இந்தப் புற அமைப்பிற்கு ஓகீ வளைகோடு (Ogee curve) எனப்



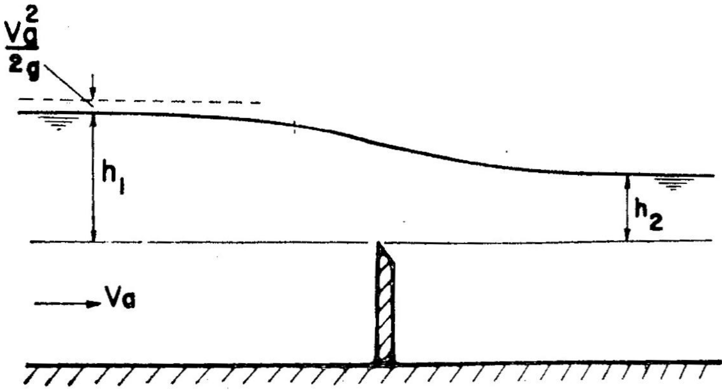
படம் 11·26. ஓகீ வழிகால்

பெயர். நிர்மாணிக்கப்பட்ட தலைப்பிற்கு (design head) இந்த ஓகீ வளைகோட்டுப் பரப்பில் அழுத்தமானது வெளிமண்டல அழுத்தமாக இருக்கும். படம் 11·26-ல் உள்ளபடி வழிகாலின் உச்சியானது தடுப்பின் முகட்டைவிட சிறிது உயரமாக இருப்பது நோக்கற்பாலது. வழிகாலிலிருந்து வழியும் நீரின் வீதத்தைக் கணிப்பதற்கான சமன்பாடு கூர்மையான முகடுடைய தடுப்பிலிருந்து வழியும் நீரின் வீதத்தைக் கணக்கிட உதவும் சமன்பாட்டைப் போன்றதே. ஆனால் இதில் பயன்படுத்தப்படும் உயரத்தின் அளவு H ஆதலால், வழிகாலுக்கான பாயுவீதச் சமன்பாட்டிலுள்ள பாயுவீதக் கெழு

அதிகப்படியான மதிப்புடையதாக இருக்கும். ஆதலால் ஒகீ வடிவமுடைய வழிகாலானது உயர் பாயுவீதக் கெழு வடிகால் (high coefficient weir) என அழைக்கப்படுகிறது. நிர்மாணிக்கப் பட்ட வழிநீர் உயரத்தைவிட மற்ற உயரங்களுக்கு ஒகீ வளை பரப்பில் அழுத்தமானது வெளிமண்டல அழுத்தமாக இராது. அழுத்தம், ஆவி அழுத்த அளவிற்குக் குறையக்கூடாததால், சோதனைமுறை மூலம் அவ்வாறு அழுத்தம் ஏற்படாதிருக்கிறதா என்று அறிந்து கொள்வது அவசியம்.

11·40. மூழ்கிய சிற்றணை (Submerged Weir)

படம் 11·27-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி சிற்றணைக்குக் கீழ்ப்புற முள்ள (downstream) நீரின் மேல்மட்டம் சிற்றணையின் முகட்டிற்கு அதிகமாக உயரத்திலிருக்குமானால் அந்த வடிகால் மூழ்கிய சிற்றணை என அழைக்கப்படுகிறது.



படம 11·27. மூழ்கிய சிற்றணை

சிற்றணைப் பகுதியில் ஓட்டமானது மாறுநிலையிலிருந்தால் இப்படிப்பட்ட மூழ்கத்தால் பாயுவீதக் கெழு பாதிக்கப்படுவ தில்லை. மூழ்கு விகிதமான $\frac{h_2}{h_1+h_2}$-ன் மதிப்பு 0·6 வரை இருக்கும் போது கூர்மையான முகட்டுடைய தடுப்புக்களிலும் மதிப்பு 0·8 வரை இருக்கும்போது அகல முகட்டுடைய கலுங்குகளிலும் அவற் றின் பாயுவீதக் கெழுக்கள் மாறுவதில்லை. மூழ்கிய பகுதியில் பாயு வீதமானது துளைக்கான சமன்பாட்டாலும் அதற்கு மேலுள்ள பகுதி யில் பாயுவீதமானது சிற்றணைக்கான சமன்பாட்டாலும் கணிக்கப் படுகிறது. ஆகவே, ஒரு மூழ்கிய சிற்றணையின் வழி பாயும் நீரின்

வீதமானது, பக்க விளைவுகளும் அணுகு திசைவேக விளைவுகளும் இல்லாதபோது,

$$Q = \tfrac{2}{3}\, C_1 L \sqrt{2g}\ (h_1 - h_2)^{\frac{3}{2}} + C_2 L h_2 \sqrt{2g\ (h_1 - h_2)}$$

$$= CL\sqrt{2g\,(h_1 - h_2)}\left\{\frac{2}{3} h_1 + \frac{1}{3} h_2\right\} \qquad (11{\cdot}36\text{-அ})$$

அணுகு திசைவேகத்தை எடுத்துக்கொண்டால்,

$$Q = CL\sqrt{2g(h_1 - h_2 + h_a)}\left\{\frac{2}{3}\left(h_1 - h_2 + h_a\right)\right.$$

$$\left. + h_2 - \frac{\frac{2}{3}\, h_a^{\frac{3}{2}}}{(h_1 - h_2 + h_2)^{\frac{1}{2}}}\right\} \qquad (11{\cdot}36\text{-ஆ})$$

இதில் C என்பது சராசரிப் பாயுவீதக் கெழுவாகும்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·25. கூரிய முகட்டுடைய, பாதிப்பற்ற நீண்ட சதுரக் கலுங்கானது 2 மீ அகலமுள்ள கால்வாயில் அதன் படுகையிலிருந்து 1 மீ உயரத்திலிருக்கிறது. நீரானது கலுங்கிற்கு முன்னும் பின்னும் அதன் முகட்டிற்கு 3 மீ, 2 மீ உயரங்களில் முறையே இருக்கிறது. பாயுவீதத்தைக் கணிக்க. சராசரிப் பாயு வீதக் கெழுவின் மதிப்பு 0·62 ஆகும்.

$$L = 2 \text{ மீ} \quad h_1 = 3 \text{ மீ} \quad h_2 = 2 \text{ மீ} \quad C = 0{\cdot}62$$

$$Q = 0{\cdot}62 \times 2\sqrt{2 \times 9{\cdot}81(3 - 2)}\left\{\frac{2}{3} \times 3 + \frac{1}{3} \times 2\right\}$$

$$= 14{\cdot}7 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

அணுகு திசைவேகத்தை எடுத்துக்கொண்டால்,

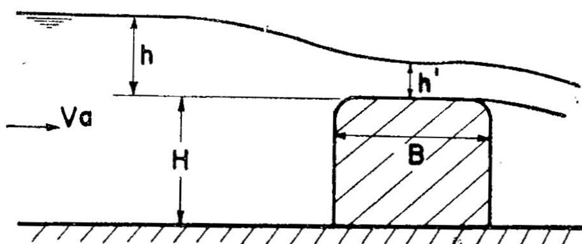
$$V_a = \frac{14{\cdot}7}{4 \times 2} = 1{\cdot}84 \text{ மீ/வி} \quad h_a = \frac{1{\cdot}84^2}{2 \times 9{\cdot}81} = 0{\cdot}17 \text{ மீ}$$

h_a-ன் மதிப்பை சமன்பாட்டில் இட்டுக் கணித்ததில் Q-ன் மதிப்பு 16·6 மீ^{3}/வி எனக் கிடைக்கிறது. மறுபடியும் முயற்சி செய்யத் தேவையில்லை. ஆகவே,

$$Q = 16{\cdot}6 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

11·41. அகலமுகட்டுச் சிற்றணை (Broad-crested Weir)

சிற்றணை முகட்டின் அகலமான B, 0·4hஐ விட அதிகமாகவும், வழவழப்பாகவும், அதன் மேல்வழியாகப் பாயும் திரவத்தின் மேல் மட்டம் சிற்றணை முகட்டிற்கு இணையாகவும் இருக்குமானால் அப்படிப்பட்ட வடிகாலுக்கு அகலமுகட்டுச் சிற்றணை எனப்பெயர்.



படம் 11 28. அகலமுகட்டுச் சிற்றணை

இப்படிப்பட்ட அமைப்பில் வடிகாலின் மேலே பாயும் நீரில் நிலை நீரியல் அழுத்தப் பகிர்வு நிலவும். படம் 11·27-ல் காட்டியுள்ளபடி சிற்றணையில் உள்முனையில் பிரிதலைத் (separation) தடுக்க, அதன் அமைப்பு சிறிது வட்ட வடிவினதாக இருக்கவேண்டும். சிற்றணைக்கு முன்னுள்ள நீரின் பாயுந்தன்மை சாந்தமுடையதாக இருக்குமானால் பெரும பாயுவீத நிலையில் பகுதி 11·35-ல் வருவித்தப்படி பாயுவீதமானது,

$$Q = 1{\cdot}71\ Lh^{\frac{3}{2}}$$

ஆக இருக்கும். அணுகு திசைவேகமான h_a-ஐ எடுத்துக் கொண்டால்,

$$Q = 1{\cdot}71L\left[(h+h_a)^{\frac{3}{2}} - h_a^{\frac{3}{2}}\right]$$

இந்த மாதிரியான சிற்றணைகளைப் பயன்படுத்துமுன் அளவு திருத்தம் செய்ய வேண்டியது அவசியம். மேலே உள்ள சமன்பாட்டில் உராய்வால் ஏற்படும் விளைவுகள், வடிகாலின் அமைப்பு போன்றவைகள் எடுத்துக் கொள்ளப்படாததால் அளவு திருத்தம் அவசியமாகிறது. உண்மையான பாயுவீதத்தை அடைய C_d என்ற பாயுவீதக் கெழுவால் மேலே கண்ட மதிப்பைப் பெருக்க வேண்டும்.

இந்த வடிகாலின் முகட்டின்வழி பாயும் நீரானது கீழ்ப்பட்ட மாறுநிலையிலிருந்தால் (subcritical) பாயுவீதமானது,

$$Q = C_d\ L\ h'\ \sqrt{(2gh - h')}$$

ஆகும். இதில் C_d பாயுவீதக் கெழுவையும், h' வடிகாலின் முகட்டிற்கு மேலுள்ள நீரின் ஆழத்தையும் குறிக்கும்.

பாயுவீதக் கெழுவின் மதிப்பு h/H-ன் மதிப்பையும், அணுகு திசைவேகத்தையும், நுழைவு நிலையையும், சொரசொரப்பையும் பொருத்தது. ஒரே வடிகாலில் C_d-யின் மதிப்பு அதன் வழி பாயும் நீரின் தலைப்பிற்கேற்ப மாறுபடும். இருந்தபோதிலும் நல்ல முறையில் வடிவமைக்கப்பட்ட அகல முகட்டுச் சிற்றணையின் பாயுவீதக் கெழு 0·97 முதல் 1·0 வரை மதிப்புடையதாக இருக்கும்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·26. 2 மீ அகலமுள்ள ஒரு நீண்ட சதுர நீர்க்காலின் முடிவில் அகல முகட்டுச் சிற்றணை அமைக்கப்பட்டுள்ளது. 0·5 மீ தலைப்பிற்கு அதன்வழி பாயும் பெரும பாயு வீதமென்ன?

$h=0{\cdot}5$ மீ $\qquad L=2$ மீ

$$Q=1{\cdot}71\times2\times(0{\cdot}5)^{\frac{3}{2}}=1{\cdot}205 \text{ மீ}^3/\text{வி}.$$

மாதிரிக் கணக்கு 11·27. 30 மீ அகலமும், 3 மீ ஆழமுமுள்ள நதியின் சராசரித் திசைவேகம் 1·2 மீ/வி ஆகும். அந்த நதியின் குறுக்கே எந்த உயரத்தில் ஒரு அணை கட்டினால் நீரானது 1 மீ உயரும். அணைக்கட்டின் நீளம் 30 மீ. அணுகு திசைவேகத்தை எடுத்துக்கொள்ளவும். $C_d=0{\cdot}62$.

ஒரு அலகு அகலத்தை எடுத்துக்கொண்டால்,

$$q=3\times1{\cdot}2=3{\cdot}6 \text{ மீ}^3/\text{வி}/\text{மீ}$$

அணைக்கு முன்னுள்ள நீரின் ஆழம் $=3+1=4$ மீ

அணுகு திசைவேகம் $V_a=\dfrac{3{\cdot}6}{4}=0{\cdot}9$ மீ/வி

$$h_a=\frac{V^2}{2g}=\frac{0{\cdot}9^2}{2\times9{\cdot}81}=0{\cdot}0413 \text{ மீ}$$

ஆகவே,

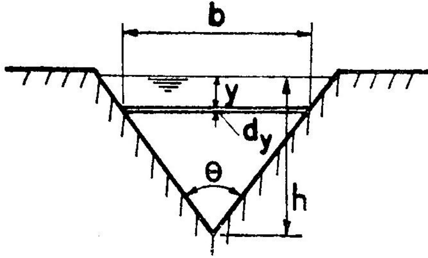
$$3{\cdot}6=\frac{2}{3}\times0{\cdot}62\sqrt{2g}\left[(h+0{\cdot}0413)^{\frac{3}{2}}-0{\cdot}0413^{\frac{3}{2}}\right]$$

$\therefore\ h=1{\cdot}529$ மீ

அணைக்கட்டின் உயரம் $=4-1{\cdot}529=2{\cdot}471$ மீ.

11·42 முக்கோணக் கலுங்கு (Triangular Notch)

படம் 11·29-ல் உள்ளபடி கலுங்கின் அமைப்பு முக்கோண வடிவுடையதாக இருக்குமானால் அதை முக்கோணக் கலுங்கு அல்லது முக்கோணச் சிற்றணை என அழைக்கிறோம். இந்த அமைப்பில் ஈரச் சுற்றளவானது தலைப்பு h-க்கு நேர் விகிதத்தில் இருக்கிறது. இதன் வழி பாயும் திரவத்தின் வீதத்தைக் கணக்கிட முதலில் ஒரு சிறிய பரப்பின் வழியாகப் பாயும் திரவவீதத்தைக் கணித்து அதைத் தொகுக்க வேண்டும்.



படம் 11·29. முக்கோணக் கலுங்கு

$$dq=2(h-y)\tan\frac{\theta}{2}\sqrt{2gy}\,dy$$

ஆகவே,

$$Q=\int dq=2\tan\frac{\theta}{2}\sqrt{2g}\int_0^h (h-y)\,y^{\frac{1}{2}}dy$$

$$=\frac{8}{15}\tan\frac{\theta}{2}\sqrt{2g}\,h^{\frac{5}{2}}$$

உண்மையான பாயுவீதமானது,

$$Q_a=\frac{8}{15}C_d\tan\frac{\theta}{2}\sqrt{2g}\,h^{\frac{5}{2}} \qquad (11{\cdot}37)$$

இதில் C_d என்பது பாயுவீதக்கெழுவாகும். பொதுவாக θ-வின் மதிப்பு 30° முதல் 90° வரை இருக்கும்.

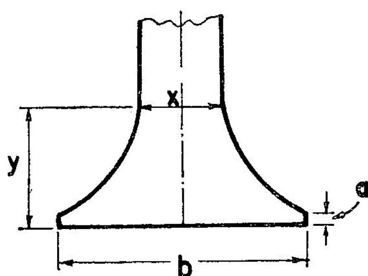
இதேபோல் சரிவக வடிமுள்ள கலுங்குகளையும் பாயுவீதத்தை அளக்கப் பயன்படுத்தலாம். கிடைமட்ட அடித்தள நீளம் L உள்ள ஒரு சரிவகக் கலுங்கின் உண்மையான பாயுவீதமானது,

$$Q=\frac{2}{3}C_1L\sqrt{2g}\,h^{\frac{3}{2}}+\frac{8}{15}C_2\sqrt{2g}\,h^{\frac{5}{2}}\tan\frac{\theta}{2} \qquad (11{\cdot}38)$$

இதில் $\frac{\theta}{2}$ என்பது ஒரு பக்கம் அதன் செங்குத்தோடு உண்டாக்கும் கோணமாகும். இதிலுள்ள C_1, C_2 என்ற பாயுவீதக் கெழுக்கள் ஒரே மதிப்புடையனவாக இருக்க வேண்டிய அவசியமில்லை.

ஒரு சரிவகத் தடுப்பில் அதன் பக்கங்கள் 1:4 என்ற சாய்வு விகிதத்தை (1 கிடைமட்டம் 4 செங்குத்து) உடையதாக இருக்குமானல் அதற்கு சிப்போலெட்டி கலுங்கு (Cipolletti weir) எனப் பெயர். இப்படிப்பட்ட அமைப்பிற்கு நீண்ட சதுரக் கலுங்குக்கான சமன்பாட்டைப் பயன்படுத்தி பாயுவீதத்தைக்கணக்கிடலாம். முக்கோணவடிவான பக்கப் பகுதிகளின் வழியாகப் பாயும் நீரானது பக்க இறுக்கத்தால் குறையும் பாயுவீதத்தைச் சரிக்கட்டும்.

பாயுவீதமானது ஒரு கலுங்கில் அதன்வழி பாயும் நீரின் தலைப்பிற்கு நேர்விகிதத்திலிருக்குமாறு அமைப்புள்ள கலுங்கிற்கு சுட்ரோ (Sutro) கலுங்கு எனப் பெயர். இதன் அமைப்பு படம் 11·30-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. அதன் வளைவான பக்கங்களுக்கான சமன்பாடு,



படம் 11·30. சுட்ரோ கலுங்கு

$$\frac{x}{b} = 1 - \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \sqrt{\frac{y}{a}}$$

இதன் பாயுவீதமானது

$$Q = C_d\, a^{\frac{1}{2}} b \sqrt{2g}\left(h - \frac{a}{3}\right) \qquad (11·39)$$

இதன் பாயுவீதக் கெழு 0·6 முதல் 0·625 வரை மதிப்புள்ளதாக இருக்கும்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·28. ஒரு சரிவக வடிவக் கலுங்கின் கிடைப்படுகை நீளம் 0·28 மீ. அதன் பக்கங்களின் சரிவு 1:3 ஆகும். நீரின் பாயுவீதம் 0·5 மீ³/வி ஆனல் தலைப்பு என்ன? $C_d = 0·62$.

$L = 0·28$ மீ $\qquad Q = 0·5$ மீ³/வி

$$Q = C_d \sqrt{2g}\left[\frac{2}{3} L h^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15} \tan\frac{\theta}{2} h^{\frac{5}{2}}\right]$$

$$0·5 = 0·62\sqrt{2 \times 9·81}\left[\frac{2}{3} \times 0·28 h^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15} \times \frac{1}{3} \times h^{\frac{5}{2}}\right]$$

$$\therefore h = 0·7 \text{ மீ}$$

மாதிரிக் கணக்கு 11·29. நீண்ட சதுர, முக்கோணக் கலுங்குகளில் நீரின் உயரத்தை அளப்பதில் சிறிது தவறு ஏற்பட்டு விட்டால் அதனுல் பாயுவீதத்தில் ஏற்படும் தவற்றை சதவீதத்தில் காண்க.

நீண்ட சதுர வடிகாலில் உயரத்தை அளப்பதில் dh தவறு ஏற்பட்டுவிட்டால் dQ என்ற தவறு பாயுவீதத்தில் ஏற்படும். ஆகவே,

$$Q=1{\cdot}84Lh^{\frac{3}{2}}$$

$$dQ=1{\cdot}8\ L\ L\times\tfrac{3}{2}\ h^{\frac{1}{2}}dh$$

$$\frac{dQ}{Q}\times 100=\frac{3}{2}\ \frac{dh}{h}\times 100$$

இதுபோல முக்கோண வடிகாலில்,

$$\frac{dQ}{Q}\times 100=\frac{5}{2}\ \frac{dh}{h}\times 100.$$

மாதிரிக் கணக்கு 11·30. ஒரு நீர்த்தேக்கத்திலிருந்து 45 மீ அகலமுள்ள வழிகாலின் மேலாக 8·6 மீ^{3}/வி அளவிற்கு நீர் வழிந்தோடுகிறது. $C_d=1{\cdot}3$. இந்த வழிகாலை 0·75 மீ × 1·5 மீ அளவுள்ள வடிகுழாய் (syphon) வழிகாலாக மாற்ற உத்தேசிக்கப்பட்டுள்ளது. வடிகால் வழிகாலின் தலைப்பு 8 மீ ஆகும். C_d-யின் மதிப்பு 8·6 மீ^{3}/வி பாயுவீதத்தை உடைத்தாயிருக்க எத்தனை வடிகுழாய் அமைப்புகள் தேவை? வடிகுழாயை முதற்கண் இயக்குவதற்குத் தேவையான ஆழம் 0·15 மீ. அந்த உயரத்தில் நீர்த்தேக்கத்தின் சராசரிப் பரப்பளவு 4×10^6 மீ^{2} ஆகுமானுல், வடிகுழாய் வழிகாலை அமைப்பதால் எவ்வளவு அதிகமாக நீரைத் தேக்கமுடியும்?

$Q=8{\cdot}6$ மீ^{3}/வி $\quad h=8$ மீ $\quad C_d=0{\cdot}64$

ஒரு வடிகுழாயின் பரப்பு $a=0{\cdot}75\times1{\cdot}5=1{\cdot}125$ மீ^{2}

ஒரு வடிகுழாயின் பாயுவீதம் $=C_d a\sqrt{2gh}$

$$=0{\cdot}64\times1{\cdot}125\sqrt{2\times9{\cdot}81\times8}$$

$$=9 \text{ மீ}^3/\text{வி}$$

வடிகுழாய்களின் எண்ணிக்கை $=\dfrac{86}{9}=9{\cdot}55$

10 எண்ணிக்கைகளைப் பயன்படுத்தவும்.

சாதாரண வழிகாலில் தேவைப்படும் தலைப்பு,

$$Q=\frac{2}{3}C_d L\sqrt{2g}\ h^{\frac{3}{2}}$$

$$86=\frac{2}{3}\times 1{\cdot}3\times 4{\cdot}5\times 4{\cdot}42\times h^{\frac{3}{2}}$$

$$\therefore\ h=0{\cdot}5 \text{ மீ}$$

ஆகவே, வடிகுழாயைப் பயன்படுத்துவதால் வழிகாலின் உச்சை 0·5—0·15=0·35 மீ உயர்த்தலாம். அதனுல் ஏற்படும் அதிகப்படியான நீர்த்தேக்க அளவானது,

$$V=0{\cdot}35\times 4\times 10^6=1{\cdot}4\times 10^6 \text{ மீ}^3.$$

11·43. வடிகாலில் நிலையற்ற ஓட்டம் (Unsteady Flow over Weirs)

ஒரு நீர்த்தேக்கத்திலுள்ள வடிகால் மேலாக நீர்வழிதலால் வடிகாலின் முகட்டிற்கு மேல் நீரின் உயரம் h_1-லிருந்து h_2-க்குக் குறைவதற்கான நேரத்தைக் கணிப்போம். A என்ற ஒரே சீரான பரப்புள்ள நீர்த்தேக்கத்திலிருந்து சிறிதளவு உயரம் dh குறைவதற்கான நேரம் dt ஆனுல்,

$$-Adh=KLh^{3/2}dt$$

இதில் h உயரத்தில் வடிகால் வழி பாயும் நீரின் வீதம் $Q=KLh^{\frac{3}{2}}$ ஆகும். உயரமானது h_1-லிருந்து h_2-க்குக் குறைவதற்கான நேரம் t ஆனது,

$$t=\int dt=\int_{h_1}^{h_2}\frac{Adh}{KLh^{3/2}}=\frac{2A}{KL}\left[\frac{1}{h_2^{\frac{1}{2}}}-\frac{1}{h_1^{\frac{1}{2}}}\right] \qquad (11{\cdot}40)$$

சமன்பாடு 11·40-லிருந்து வடிகாலின் பாயுவீதக் கெழுவைச் சோதனை மூலம் கண்டறியலாம்.

மாதிரிக் கணக்கு 11·31. ஒரு நதியின் குறுக்குவெட்டுப் பரப்பு 450 மீ^{2} ஆகும். அதில் சராசரித் திசைவேகம் 1·14 மீ/வி. இந்த நதியில் பாயும் நீரை மூன்று குறுகிய பாதைகளின் வழியாக செலுத்தும்போது அதன் சராசரித் திசைவேகம் 1·5 மீ/வி-ஆக அதிகரிக்கிறது. இதனுல் ஏற்படும் பின்னுயர்வு (afflux) என்ன ?

பெர்னுலித் தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தி,

$$h_1+\frac{V_1^2}{2g}=h_2+\frac{V_2^2}{2g}$$

ஆகவே, பின்னுயர்வு $h = (h_1 - h_2) = \frac{1}{2g}(V_2{}^2 - V_1{}^2)$

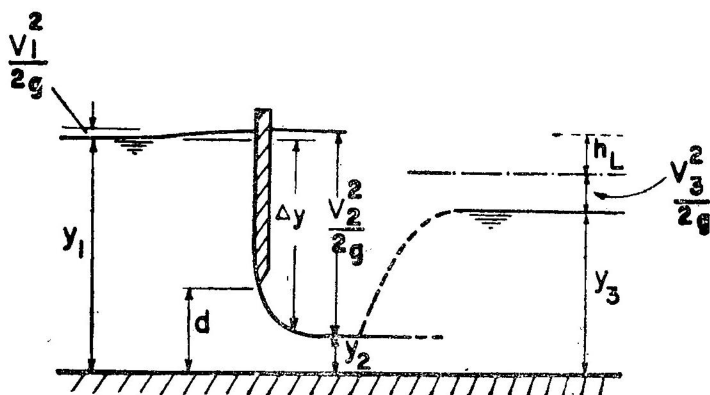
$$= \frac{1}{2 \times 9{\cdot}81}(1{\cdot}5^2 - 1{\cdot}4^2)$$

$$= 0{\cdot}0485 \text{ மீ}$$

பின்னுயர்வு $= 0{\cdot}0485$ மீ.

11·44. மதகுக் கதவு (Sluice Gate)

பலவகையான கதவுகளின் வழி பாயும் நீரின் வீதத்தை அளக்க, அந்தக் கதவின் அமைப்பையே பயன்படுத்தலாம். இவ்வாறு கதவுகளைப் பயன்படுத்தும்போது அவற்றிற்கான பாயு வீதக் கெழுவை சோதனைமூலம் கண்டறிவது பெரும்பாலும் அவசியமாகிறது. டெயின்டெர் (Tainter) மதகுக் கதவுகளுக்கான பாயுவீதக் கெழுவை அறிய சோதனைகள் மூலம் சேகரிக்கப்பட்ட தேவையான புள்ளிவிபரங்கள் உள்ளன. மதகுக் கதவுகள் நீரியற் துறையில் அதிகமாகப் பயன்படுத்தப்படுவதால் அது பற்றி இங்கு படிப்போம்.



படம் 11·31. மதகு கதவின்வழி பாய்ச்சல்

மதகுக் கதவுகள் பொதுவாகச் செங்குத்தாக நேராக தூக்கு வதற்கு வசதியாக அமைக்கப்பட்டிருக்கின்றன. கதவிற்குப் பின் பக்கத்தில் நீரானது வெகு உயரத்திலிருக்கிறது. கதவானது மேலே தூக்கப்படும்போது அடியிலுண்டாகும் நீண்ட சதுரத் துளையின் வழியாகக் கதவிற்கு இருபுறங்களிலுமுள்ள நீரின் ஆழ வேறு பாட்டிற்கேற்ப நீரானது பாய்கிறது. கதவிற்குப் பிறகு நீரின் ஆழமானது கதவின் அடிப்பாகத்தை மூழ்கடிக்குமானால் அதை

மூழ்கிய மதகுக் கதவு (drowned sluice gate) என அழைக்கிறோம். படம் 11·31-ல் மதகுக் கதவின் அடிப்பாகத்தின் வழியாக நீர் பாய்வதால் ஏற்படும் அமைப்பு விளக்கப்பட்டிருக்கிறது. கொள்கை ரீதியில் ஆய்வதற்கான வசதிக்காக இதை இரண்டு பரிமாண அமைப்பாக எடுத்துக் கொள்வோம். அடிப்பாகத்தின் வழியாக ஏற்படும் நீரோட்டமானது சீரானதாக இருக்குமானால் அதை ஒரு நீண்ட சதுரச் சிறு துளை வழியாக ஏற்படும் ஓட்டமாகக் கருதலாம். ஆனால் துளை வழியாகப் பாயும் நீரானது புவியீர்ப்பு விசையால் ஈர்க்கப்பட்டு தொடர்ச்சியாக முடுக்கத்தை அடைகிறது. மதகுக் கதவின் அடியிலிருந்து பாயும் நீரோ குறுக்கத்திற்குப் (vena contracta) பிறகு நிலையான ஓட்டத்தை அடைந்து நிலைநீரியற் அமுக்க நிலையை அடைகிறது. மதகுக் கதவிற்கு அடியிலுள்ள இடத்தில் நீரானது முடுக்கமுடைத்தாயிருப்பதால் அது அங்கே நிலை நீரியல் அழுத்தத்தில் இல்லை. மதகுக் கதவு d ஆழம் திறந்திருக்கும்போது அதிலிருந்து வரும் தாரையானது கொஞ்ச தூரத்தில் y_2 ஆழமாகக் குறைகிறது. இப்போது $y_2 = C_c d$ என்று எடுத்துக் கொள்ளலாம். இதில் C_c என்பது சுருக்கக் கெழுவாகும் (coefficient of contraction).

மதகுக் கதவின் ஒரு அலகு அகலமுள்ள பாகத்தை மட்டும் எடுத்துக்கொண்டு பெர்னூலித் தேற்றத்தையும், தொடர்ச் சமன்பாட்டையும் பயன்படுத்தினால்,

$$\frac{V_1^2}{2g} + y_1 = \frac{V_2^2}{2g} + y_2 = \frac{V_2^2}{2g} + C_c d$$

மேலும், $$q = V_1 y_1 = V_2 y_2 = V_2 C_c d$$

$$\therefore \quad V_2 = \frac{\sqrt{2gy_1}}{\sqrt{1 + \frac{C_c d}{y_1}}}$$

ஆனால் $q = V_2 C_c d$

$$q = \frac{C_c}{\sqrt{1 + \frac{C_c d}{y_1}}} d\sqrt{2gy_1} = C_1 d\sqrt{2gy_1}$$

இதில்

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 + \frac{C_c d}{y_1}}} \qquad (11{\cdot}41)$$

பிசுபிசுப்புத் தன்மையானது புறக்கணிக்கத்தக்க அளவு சிறிதாக இருக்குமாதலால் மதகின் பாயுவீதக் கெழுவானது $\frac{d}{y_1}$ விகிதத்திற் கும் C_c-யையும் பொறுத்தது. $\frac{d}{y_1}$ -ன் மதிப்பு சுழியிலிருந்து 0·5-ஆக இருக்கும் வரை தாரையானது மதகை அடுத்துள்ள நீரின் ஆழத் தால் பாதிக்கப்படாமலிருக்குமானால், அதன் C_d-யின் மதிப்பு 0·61 முதல் 0·65 வரை இருக்கும். $\frac{y_1}{d}$-க்கும் C_d-க்குமுள்ள தொடர்பு

படம் 11·32. பாயுவிதக் கெழுவிற்கும் y_1/b-க்குமுள்ள தொடர்பு

படம் 11·32-ல் சோதனைகளிலிருந்து அடைந்த புள்ளி விபரங்களின் உதவியால் விளக்கப்பட்டுள்ளது. மேலும் எவ்வாறு மூழ்கலால் C_d-யின் மதிப்பு மாறுகிறது என்பதையும் வரைபடம் விளக்குகிறது.

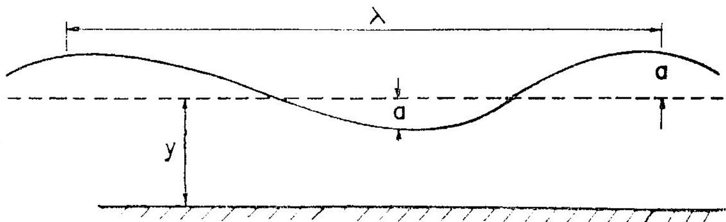
11·45. அலைகள் (Waves)

நீரின் மேற்பரப்பில் உண்டாகும் காலத்தால் மாறுபடும் சலனத்திற்கு அலை எனப் பெயர். ஓடும் நீரின் மேல் அல்லது ஒரு குளநீரின் மேல் கல்லை எறிந்தால் அதனாலுண்டாகும் சலனம் கல்பட்ட இடத்திலிருந்து மற்ற இடங்களுக்குப் பரவுகிறது. இது ஒருவகை அலையாகும். அலையைக் கீழ்க்கண்டவாறு பாகுபடுத்த லாம்.

(அ) நுண்புழை அலை (capillary wave) ஆழமற்ற நீர்நிலைகளில் புறப்பரப்பு இழுவிசையால் ஏற்படும் சிறிய வீச்சு(amplitude)ள்ள சலனங்கள்.

(ஆ) ஈர்ப்பு அலை (Gravity wave) பாய்மத்தின் சடத்துவம் (inertia of fluid) அதிகமாக உள்ள சலனங்கள்.

(இ) மீட்சி அலை (elastic wave) பாய்மத்தின் மீட்சித்தன்மையால் பரவும் சலனங்கள். இவ்வகை அலைகள் மூடிய குழாய்களிலும் ஆழமான நீர்நிலைகளிலும் உண்டாகும். ஈர்ப்பு அலைகள், அலைவுறும் அலைகள் (oscillatory waves), இடப்பெயர்ச்சி அலைகள் (translatory waves) என இருவகையாகப் பிரிக்கப்படும். இது அந்த அலையிலுள்ள தனிப்பட்ட துகளின் அசைவைப் பொருத்தது. அலை நீளத்தை ஆழத்தோடு ஒப்பிடும்போது அலை நீளம் வெகு அதிகமாக இருக்குமானால் ஈர்ப்பு அலை ஆழமற்ற நீர்நிலை (shallow water wave) அலையாகிறது. ஆனால் அலைநீளம் குறைவாக இருக்குமானால் ஆழநீர் நிலை (deep water wave) அலையாகிறது.



படம் 11·33. அலை பற்றிய விளக்கம்

படம் 11·33-ல் அலை அமைப்பின் விளக்கப் படம் காட்டப்பட்டுள்ளது. இங்கு ஈர்ப்பு அலைகளைப் பற்றியே படிப்போம்.

11·46. அலைத் திசைவேகம் (Celerity)

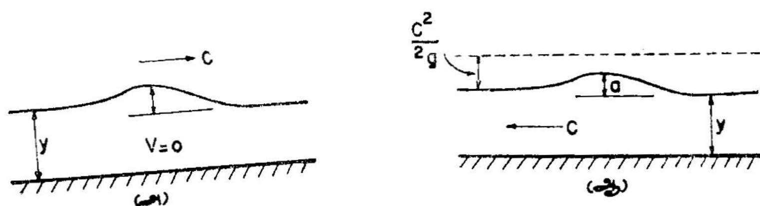
அலையானது எந்த நீரின் மேல் நகர்ந்து செல்கிறதோ அந்த நீரின் திசைவேகத்திற்கு ஒப்பான அலையின் திசைவேகத்திற்கு அலைத் திசைவேகம் என்று பெயர். இது C என்ற எழுத்தால் குறிக்கப்படுகிறது. நீரின் திசைவேகம் V-யும், அலைத் திசைவேகம் C-யும் ஒரே திசையில் இருக்குமானால் அலையின் தனித் திசைவேகமான (absolute velocity) V_W இந்த இரண்டு திசைவேகங்களின் கூட்டுத் தொகைக்குச் சமமாகும். எதிர் திசைகளிலிருந்தால் அவற்றின் மாறுபாட்டிற்குச் சமமாகும். V_W-ன் மதிப்பு நேர் அல்லது எதிராக இருக்கலாம்.

$$V_W = V \pm C \tag{11·42}$$

நீரில் அலைத் திசைவேகம் பரவுவது, மீட்சி ஊடகத்தில் (elastic medium) ஒலி அலைகள் பரவுவதற்கு ஒப்பானதாகும். நீரோட்டத்தின் ஃப்ரூடு எண்ணின் மதிப்பு 1-க்கு அதிகமாக, சமமாக, குறைவாக இருப்பதைப் பொறுத்து, அலையானது நீர் ஓட்டத்தை கீழ் நோக்கி மட்டும் நிலையாக, மேல் நோக்கியும் பரவும். மேம்பட்ட மாறுநிலை ஓட்டத்தில் நீரில் ஏற்படும் சலனங்கள் நீரோட்டத்திற்கு எதிராகச் செல்லா. அச்சலனங்கள் கீழ் நோக்கியே பரவும். அதுவும் அமுக்கப் பாய்ம ஓட்டப் பகுதியில் விளக்கியுள்ளபடி மாக் கூம்புப் (Mack cone) பகுதியிலேயே இருக்கும்.

11·47. ஆழமற்ற நீர் ஈர்ப்பு அலைகள் (Shallow Water Gravity Waves)

அலையின் வீச்சு நீரின் ஆழத்திற்குக் குறைவாக இருக்கின்றதால் நீரில் ஏற்படும் விளைவுகளின் விளைவைப் புறக்கணிக்கலாம். மேலும் தகைவின் அமைப்பு நிலைநீரியற் தன்மைத்தாக இருப்பதாகக் கொள்ளலாம். ஆழமற்ற நீர் அலைகளில் ஒருவகை, தனிமை அலை (solitary wave) ஆகும். படம் 11·34-லுள்ளது போல் ஒரு அலையானது எந்தவிதக் கொந்தளிப்புமின்றி தன் அமைப்பிலும், திசை



படம் 11·34. தனிமை அலை

வேகத்திலும் வேறுபாடின்றி கால்வாய், ஆறுகளில் மேல் நோக்கி நகருவதைப் பார்த்திருக்கலாம். தடையற்ற கால்வாயில் முடிவற்ற தூரத்திற்குத் தனிமை அலையானது தன் அமைப்பில் மாறாமல் செல்லும். ஆனால் அனுபவத்தில் தடையால் தனிமை அலையின் அமைப்பு சிறிது சிறிதாக மாறி பின்னர் மறைந்து விடுகிறது. நதிகளில் பூகம்பங்களால் இவ்வகை அலை ஏற்படுகிறது. ஆய்வு கூடங்களில் செங்குத்தான கதவை நீர்க்காலில் திடீரென கிடைத் திசையில் நகர்த்தினால் இவ்வகை அலை ஏற்படும்.

ஒரு தனிமை அலையின் அலைத் திசைவேகத்தை அறிய, நீண்ட சதுரக் கால்வாயை எடுத்துக் கொள்வோம். அதில் y ஆழ நீரில் C வேகத்தில் அலையானது நகர்வதாகக் கொள்வோம். வாய்க்காலிலுள்ள நீர் ஓட்டமற்றிருக்கிறது. படம் 11·34-ல் உள்ளபடி கால்வாயில் நீரின் வேகத்தை எதிர் திசையில் C வேகத்தில் ஓடுவதாகக்

கொண்டால் அலையை நிலைக்குக் கொண்டுவர முடியும். அலை உச்சிக்கும், இயல்பான பகுதிகளுக்குமுள்ள ஆற்றல் சமன்பாட்டை எழுதினல்,

$$y+\frac{C^2}{2g}=(y+a)+\frac{C^2}{2g}\left(\frac{y}{y+a}\right)^2$$

$$C^2=\frac{2g(y+a)^2}{2y+a}$$

$$=\frac{gy\left(y+2a+\frac{a^2}{y}\right)}{y+\frac{a}{2}}$$

$$=gy\left(1+\frac{3a}{2y}\right)$$

ஆகவே,

$$C=\sqrt{gy\left(1+\frac{3}{2}\frac{a}{y}\right)}$$

ஈருறுப்பு விரிவுபடுத்தி (binomial expansion) குறைந்த மதிப்புள்ளவற்றை நீக்கிவிட்டால்,

$$C=\sqrt{gy}\left(1+\frac{3}{4}\frac{a}{y}\right) \tag{11·43}$$

$\frac{a}{y}$-ன் மதிப்பு மிகக் குறைவாக இருந்தால் கீழ்க்கண்ட லெக்ராஞ்சி அலைத் திசைவேகச் (Lagrange celerity) சமன்பாட்டை அடையலாம்.

$$C=\sqrt{gy}$$

இதிலிருந்து இந்த நிலையில் F=1 என அறியலாம். ஆகவே, கால்வாயில் நீரோட்டமானது வெறியோட்டமாக இருக்குமாஞல், அலையானது நீரோட்டத்தை எதிர்த்துச் செல்ல இயலாது என அறியப்படும்.

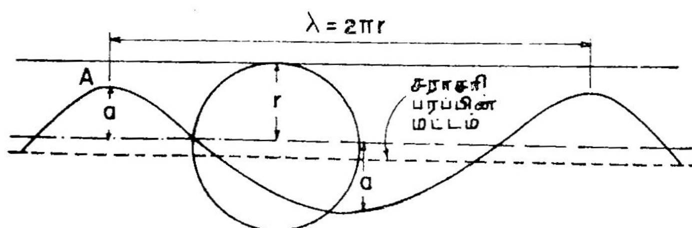
மாதிரிக் கணக்கு 11·32. 0·5 மீ ஆழமுள்ள நீர்நிலையில் ஒரு கல் விழுகிறது. அலைத் திசைவேகம் என்ன? அலையானது மேல் நோக்கி நகர வேண்டாமென்ருல் நீரின் திசைவேகத்தின் மதிப்பு என்ன?

$$y=0·5 \text{ மீ}$$

அலைத் திசைவேகம் $C=\sqrt{gy}=\sqrt{9.81\times0{\cdot}5}=2{\cdot}21$ மீ/வி
அலையானது மேல் நோக்கிச் செல்ல வேண்டாமென்றால் நீரின் திசைவேகம் குறைந்தது 2·21 மீ/வி. ஆக இருக்க வேண்டும்.

11·48. ஆழநீர் ஈர்ப்பு அலை

இந்த வகை அலைகள் ஆழ்கடலில் ஏற்படுகின்றன. இதில் அலை நீளத்தைவிட நீரின் ஆழம் மிக அதிகமாக இருக்கும். இத்



படம் 11·35. ஆழநீர் ஈர்ப்பு அலை

தகைய அலைகளின் பக்கத் தோற்றம் படம் 11·35-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. இதன் மேற்பரப்பிலுள்ள ஒவ்வொரு துகளும் r ஆரமுள்ள வட்ட அமைப்பில் நகர்ந்து A என்ற உச்சியில் பெரும திசைவேகத்தை நீரோட்ட திசையில் அடைகிறது. அலைத் திசை வேகத்தின் மதிப்பை ஏரி (Airy) என்ற விஞ்ஞானி $C=\sqrt{\frac{gd}{2\pi}}$ எனக் கணக்கிட்டுள்ளார்.

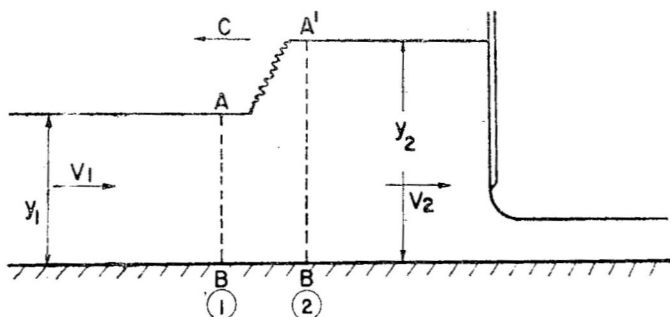
11·49. எழுச்சி (Surge)

ஒரு கால்வாயில் ஓடும் நீரோட்டமானது திடீரென்று கதவைத் திறப்பதால் அல்லது மூடுவதால் அதிகரிக்கப்பட்டாலோ அல்லது குறைக்கப்பட்டாலோ கதவின் இரு பக்கங்களிலும் நீரின் ஆழத்தில் திடீர் மாறுதல் ஏற்படுகிறது. இந்த நீரின் ஆழமாற்றம் கதவிற்குக் கீழும் மேலும் பரவுகிறது. இதற்கு எழுச்சி எனப் பெயர். இந்த எழுச்சியால் நீரின் ஆழம் அதிகமானால் நேர் எழுச்சி (positive surge) என்றும், நீரின் ஆழம் குறைந்தால் எதிர் எழுச்சி (negative surge) என்றும் வழங்குகிறோம். இந்த இரண்டு வகை எழுச்சிகளும் நீரோட்ட திசையிலோ அல்லது எதிர் திசையிலோ நிகழலாம். எதிர் எழுச்சியில் அதன் மேல்பாகம், கீழ் பாகத்தைவிட அதிக வேகத்தில் நகர்வதால் இது நிலையான தல்ல ; ஆழம் படிப்படியாக மாறுபாடடைந்து எழுச்சி மறைந்து விடுகிறது.

நேர் எழுச்சியானது நீரியற் குதிப்பு போன்று ஒரு திட்டமான அமைப்பை உடையது. இது திடீரென அமைக்கப்பட்ட மதகின் மேற்புறமும், நீரேற்றத்தாலும் (hydraulic bore) ஏற்படுகிறது. திடீரென அடைக்கப்பட்ட கதவிற்கு கீழ்ப்புறம் எதிர் எழுச்சி ஏற்படுகிறது திடீரென்று திறக்கப்பட்ட கதவிற்குக் மேற்புறமும் ஏற்படக்கூடும்.

11·50. நேர் எழுச்சி

கிடைமட்டமான ஒரு நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் கதவு மூடப் படுவதால் மேற்புறத்தில் உண்டாகும் நேர் எழுச்சி படம் 11·35-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. எழுச்சியின் உயரம் $(y_2 - y_1)$ ஆகும். பகுதி 1-ல் உள்ள பாயுவீதம் பகுதி 2-ல் உள்ள பாயுவீதத்திற்கும், இரண்டு பகுதிகளுக்கும் இடையில் சேகரிக்கப்படும் நீரின் மொத்த அளவிற்கும் சமமாக இருக்க வேண்டும். எனவே, தொடர்ச் சமன் பாடானது,



படம் 11·35. நேர் எழுச்சி

$$V_1 y_1 = V_2 y_2 + C(y_2 - y_1)$$

ABB'A' என்ற ஆட்சிபருமனை எடுத்துக்கொண்டு உந்துக் கொள்கையைப் பயன்படுத்தினல்,

$$\frac{wy_1^2}{2} - \frac{wy_2^2}{2} = (C+V_1)\frac{wy_1}{g}(V_2 - V_1)$$

இதில் உந்த வேறுபாட்டிற்கு உட்படும் நிறையின் மதிப்பு ஒரு வினடிக்கு,

$$\frac{w(C+V_1)y_1}{g}$$

ஆகும்.

சமன்பாட்டிலிருந்து V_2-ஐ நீக்கி,

$$\frac{2}{g}(V_1+C)^2=\frac{y_2}{y_1}(y_1+y_2)$$

ஆகவே,

$$V_1+C=\sqrt{gy_1}\left\{\frac{1}{2}\,\frac{y_2}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}+1\right)\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{11·44}$$

நிலையான நீருள்ள ஒரு வாய்க்காலில் கதவானது நீரின் பக்கம் திடீரெனத் தள்ளப்பட்டால் கீழ்க்கண்ட அலைத் திசைவேகமுள்ள நேர் எழுச்சி ஏற்படும்.

$$C=\sqrt{gy_1}\left\{\frac{1}{2}\,\frac{y_2}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}+1\right)\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{11·45}$$

எழுச்சி நிலையானதாக இருக்கும்போது $C=0$. எனவே, சமன்பாடு 11·44 கீழ்க்கண்டவாறு மாறுகிறது.

$$V_1=\sqrt{gy_1}\left\{\frac{y_2}{y_1}\,\frac{1}{2}\left(\frac{y_2}{y_1}+1\right)\right\}^{\frac{1}{2}}$$

மேலேயுள்ள சமன்பாடு நீரியற் குதிப்பின் சமன்பாட்டிற்கு ஒப்பானது. ஆனாலும் நேர் எழுச்சியும், நீரியற் குதிப்பும் ஒன்றுகாது. நேர் எழுச்சியின் V_1 திசைவேகம் மேம்பட்ட மாறுநிலையில் இருக்க வேண்டிய அவசியமில்லை.

மாதிரிக் கணக்கு 11·33. ஆய்வுகூட வாய்க்காலில் நீரானது 1 மீ ஆழத்தில் 3 மீ/வி திசைவேகத்தில் ஓடுகிறது. கதவானது நீரின் ஆழம் 1·5 மீ-ஆக உயரும் அளவிற்கு மூடப்படுகிறது. எழுச்சியின் அலைத் திசைவேகம் என்ன ?

$y_1=1$ மீ $V_1=3$ மீ/வி $y_2=1·5$ மீ $C=?$

இப்போது

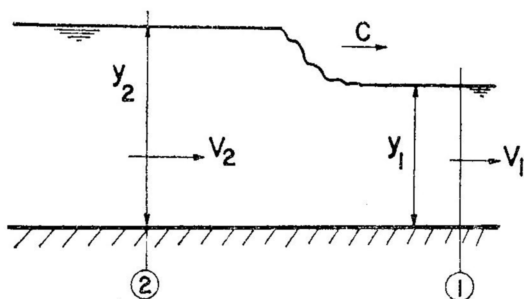
$$V_1+C=\sqrt{gy_1}\left\{\frac{1}{2}\,\frac{y_2}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}+1\right)\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$C=\sqrt{9·81\times1}\left\{\frac{1}{2}\,\frac{1·5}{1}\left(\frac{1·5}{1}+1\right)\right\}^{\frac{1}{2}}-3$$

$$=1·29 \text{ மீ/வி.}$$

மாதிரிக் கணக்கு 11·34. 1 மீ அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் 1·6 மீ ஆழத்தில் 1 மீ/வி திசைவேகத்தில் ஓடுகிறது. மேற்புறத்தில் திடீரென நீரின் பாயுவீதம் இரட்டிக்கப்படுகிறது.

இதனல் ஏற்படும் எழுச்சியின் உயரத்தையும், அது கீழ் நோக்கிச் செல்லும் வேகத்தையும் கணக்கிடு.



$y_1 = 1{\cdot}6$ மீ $\quad V_1 = 1$ மீ/வி

$V_2 y_2 = 3{\cdot}2$ மீ^{3}/வி

பகுதி 1-ற்கும் பகுதி 2-ற்குமுள்ள தொடர்ச் சமன்பாடு,

$$V_1 y_1 = V_2 y_2 - C\,(y_2 - y_1)$$

$$1{\cdot}6 = 3{\cdot}2 - C\,(y_2 - 1{\cdot}6)$$

$$C = \frac{1{\cdot}6}{y_2 - 1{\cdot}6}$$

பகுதி 1-க்கும் பகுதி 2-க்கும் உந்தகக் கொள்கையைப் பயன்படுத்தி

$$\frac{wy_2}{2} - \frac{wy_1{}^2}{2} = \frac{wy_2(V_2 - C)}{g}\,(V_1 - V_2)$$

$$y_2 - 1{\cdot}6^2 = \frac{2y_2}{9{\cdot}81}\left\{\frac{3{\cdot}2}{y_2} - \frac{1{\cdot}6}{(y_2 - 1{\cdot}6)}\right\}\left(1 - \frac{3{\cdot}2}{y_2}\right)$$

$$\therefore\; y_2 = 2{\cdot}95 \text{ மீ}$$

எழுச்சியின் உயரம் $= (y_2 - y_1) = 2{\cdot}95 - 1{\cdot}6 = 1{\cdot}35$ மீ

அலைத் திசைவேகம் $C = \dfrac{1{\cdot}6}{2{\cdot}95 - 1{\cdot}6} = 1{\cdot}185$ மீ/வி.

பயிற்சிக் கணக்குகள்

11·1. மானிங், செசி எண்களுக்குள்ள சம்பந்தத்தைக் காண்.

11·2. ஓர் கால்வாய்த் திரவ ஓட்டத்தில் ரெயினல்ஸ் எண் 500-க்கும் குறைவாக இருக்குமானல் மானிங், செசி வாய்பாடுகளைப் பயன்படுத்த முடியுமா?

11·3. ஒரு கால்வாயின் படுகைச் சரிவு, குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு, ஈரச் சுற்றளவு இவற்றை அளப்பதில் முறையே x, y, z என்ற சதவீத அளவு தவறுகள் ஏற்பட்டுவிட்டன. இத்தவறுகளால் ஏற்படும் விளைவுகள் கூட்டுத்தன்மைத் துடைத்தானுல் செசி வாய்பாட்டைப் பயன்படுத்தி கணிக்கப்படும் பாயுவீதத்திலுண்டாகும் தவற்றை சத வீதத்தில் கணக்கிடு.

11·4. செசி எண்ணிற்கும், தடை எண்ணிற்குமுள்ள சம்பந்தத்தைக் காண்.

11·5. 0·5 மீ அகலமும், 1:1000 படுகை சரிவுமுள்ள ஆய்வுக் கூடக் கால்வாயில் நீரின் ஆழம் 0·5 மீ-ல் சீராக ஓடினுல் நீரின் பாயுவீதமென்ன? மானிங் எண் 0·013 ஆகும்.

11·6. 3 மீ அகலமும், 1 மீ ஆழமுமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாய் 10 மீ^{3}/வி நீரை சீரான ஓட்டத்தில் கடத்துகிறது. அந்தக் கால்வாயின் சரிவு என்ன? $N=0·035$.

11·7. ஒரு நீண்ட சதுரக் கால்வாய் பெரும பாயுவீதத்தில் நீரைக் கடத்த நிபந்தனை யாது?

11·8. 2 மீ அகலமும், 1 மீ ஆழமும், 1:2000 படுகைச் சரிவுமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் ஓடும் நீரின் பாயுவீதமென்ன? செசி எண் $= 50$.

11·9. கீழ்க்கண்ட குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு வடிவமுள்ள கால்வாய்களின் ஈரச் சுற்றளவை பரப்பின் சார்பாக விளக்குக.

(அ) முனை அடியிலுள்ள சமபக்க முக்கோணம்,

(ஆ) அரை வட்டம்,

(இ) அரை அறுகோணம் (hexagon),

(ஈ) அரைச் சதுரம்.

ஒரு சரிவகக் கால்வாய் பாதிச் சதுர வடிவமுடைய கால்வாயின் அளவு நீரின்வீதத்தைக் கடத்துமானுல் அது சிறந்த அமைப்பாக இருக்க அதன் பக்கங்களின் சரிவு என்ன?

11·10. கணக்கு 11·6-ல் உள்ள கால்வாயின் படுகையில் சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு என்ன?

11·11. சிறந்த நீரியற் குறுக்குப் பரப்பளவுடைய சரிவகக் கால்வாயின் ஆழம், படுகை அகலம், பக்கச் சரிவு இவற்றிடையேயுள்ள தொடர்பு என்ன ?

11·12. 5 மீ^{2} குறுக்குப் பரப்பும், 45° பக்கச் சரிவுமுள்ள கால்வாயின் சிறந்த நீரியற் அமைப்பைக் காண்க. அதன் அடித்தளச் சரிவு 1 : 1000. சீரான ஓட்டத்திற்கு அந்தக் கால்வாயிலுண்டாகும் பாயுவீதம் என்ன? மானிங் எண் = 0·013.

11·13. சிறந்த நீரியற் அமைப்புடைய சரிவகக் கால்வாய் 2:1 பக்கச் சரிவுடையதாக இருக்கிறது. அது 50 மீ^{3}/வி பாயுவீதத்தில் நீரைக் கடத்துகிறது. இதே பாயுவீதத்தை அதே அடித்தள அமைப்புள்ள ஒரு சிறந்த அமைப்புடைய நீண்ட சதுரக் கால்வாய் கடத்துமானுல் 10 கிமீ தூரத்தில் ஏற்படும் ஆற்றல் மிச்சத்தை கிலோ வாட்டுகளில் கணக்கிடு. இரண்டு கால்வாய்களிலும் சராசரித் திசைவேகம் 0·5 மீ/வி. செசி எண் = 50.

11·14. ஒரு கிடைமட்டம், 2 நேர்குத்து பக்கச் சரிவுள்ள சரிவகக் கால்வாயானது 100 கமீ/வி நீரைக் கடத்துகிறது. வெகு குறைந்த குறுக்கு வெட்டுப் பரப்புள்ள கால்வாயை கீழ்க் கண்ட புள்ளி விபரங்களுக்குத் தீர்மானி. படுகைச் சரிவு 1 மீ/2 கிமீ. செசி எண் = 50.

11·15. கான்கிரீட்டினுல் பூசப்பட்ட 0·001 படுகைச் சரிவுடையதும், 1:1 பக்கச் சரிவுடையதும், 3 மீ படுகை அகலமும் உள்ள கால்வாய் 750 மீ^{3}/வி பாயுவீதத்தை எந்த ஆழத்தில் கடத்தும்? மானிங் எண் = 0·013.

11·16. ஒரு வட்டக் குழாயில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள சரிவிற்குத் திறந்த மேற்பரப்புடன் பெரும சராசரித் திசைவேகத்திற்கான நிபந்தனை என்ன ?

11·17. ஒரு வட்டக் கால்வாயில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள சரிவிற்கு உச்ச பாயுவீதத்தைக் கடத்திச் செல்ல தேவையான அதிகப்படியான ஆழம் என்ன ?

11·18. 1:3000 அடித்தளச் சரிவுள்ள கழிவுநீர் கடத்தும் வட்ட வடிவமான வாய்க்கால் 5 மீ^{3}/வி நீரினளவு வீதத்தைக் கடத்தத் தேவையான சிறும விட்டம் என்ன? மானிங் எண் = 0·014.

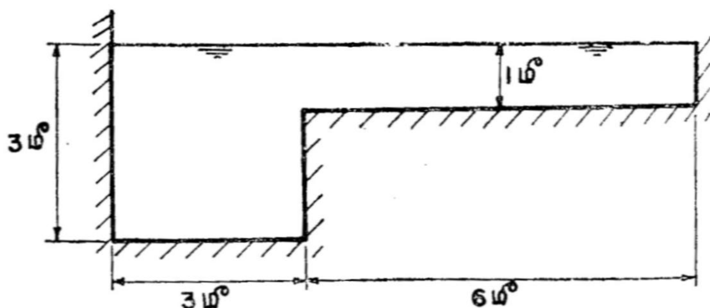
11·19. சுடப்பட்ட 1 மீ விட்டமுள்ள கழிவுநீர்க் குழாய் 2 மீ^{3}/வி பாயுவீதத்தைக் கடத்துகிறது. அதன் அடித்தளச் சரிவை (அ) பாதி ஆழம் (ஆ) முழு ஆழம் இவற்றில் நீர் ஓடும் போது காண்க.

11·20. கணக்கு 11·18-ல் பெரும திசைவேக நிலைக்கு அதன் விட்டம் எவ்வளவாக இருக்க வேண்டும்?

11·21. ஆய்வுக்கூட வாய்க்கால் முக்கோண விடிவினது. அதன் படுகைச் சரிவு 1:2500 ஆனல், ஆழத்திற்கும் பாயுவீதத்திற்குமுள்ள தொடர்பை விளக்கப்படத்துடன் விவரி. மானிங் எண்=0·001.

11·22. படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள அமைப்பில் பாயுவீதத்தை கீழ்க்கண்ட இரண்டு முறைகளில் கணக்கிடு.

(அ) அதன் முழு குறுக்குவெட்டுப் பரப்பையும் ஒன்ருகக் கருதி;



(ஆ) பாயுவீதத்தை ஆழம் குறைவான பாகத்திலும், ஆழம் அதிகமாயுள்ள பாகத்திலும் தனித்தனியே கணித்துக் காட்டுக. அமைப்பின் அடித்தளச் சரிவு 0·001; மானிங் எண்=0·015.

11·23. 2·5 மீ அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் 8 மீ ஆழத்தில் ஓடும் நீரின் பாயுவீதம் 250 மீ^{3}/வி. தன் ஆற்றல் என்ன?

11·24. கணக்கு 11·23-ல் எந்த ஆழத்திற்குத் தன் ஆற்றல் சிறுமமாக இருக்கும்?

11·25. ஒரு கால்வாயில் நீரோட்டம் மாறுநிலையிலிருக்கிறது. அதன் மாறுநிலை ஆழம் 2 மீ ஆனல் 1 மீ அகலத்திற்கு அதில் பாயுவீதம் என்ன?

11·26. தன் ஆற்றல், மாறுநிலை ஆழம், மாறுநிலைத் திசைவேகம் இவற்றிற்குள்ள தொடர்பு என்ன ?

11·27. 3 மீ அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் நீரின் பாயு வீதம் 20 மீ^{3}/வி. மாறுநிலை ஆழம், திசைவேகம் இவற்றை காண்.

11·28. கணக்கு 11·21-ல் மானிங் எண் 3 மடங்கு அதிகமானால் பாயுவீதத்தில் ஏற்படும் மாறுதல் யாது ?

11·29. 0·001 அடித்தளச் சரிவு, 2 மீ அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் 4 மீ^{3}/வி அளவில் நீரோட்டம் சீராக ஓடும் போது அது மேம்பட்ட மாறுநிலையுடைத்தா அல்லது கீழ்ப்பட்ட மாறுநிலையுடைத்தா என்பதைக் கண்டுபிடி. இந்தப் பாயுவீதத்தை சீரான மாறுநிலை ஆழத்தில் கடத்த கால்வாயின் சரிவு எவ்வளவாக இருக்க வேண்டும் ? மானிங் எண் = 0·012.

11·30. கணக்கு 11·27-ல் கால்வாயின் அடித்தளச் சரிவு 0·002-ஆக இருக்குமானால் மானிங் எண்ணின் மதிப்பு என்ன ?

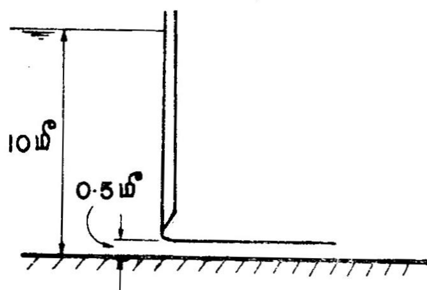
11·31. 3 மீ அடித்தள அகலம், 1:1 பக்கச் சரிவுள்ள சரிவகக் கால்வாய் 8 மீ^{3}/வி அளவுவீதத்தில் நீரைக் கடத்துகிறது. அதில் தன் ஆற்றலை 0·1 மீ ஆழத்திலிருந்து 1 மீ ஆழம் வரை 0·1 மீ வித்தியாசத்தில் ஒவ்வொரு ஆழத்திற்கும் காண். அந்த வரைகோட்டிலிருந்து மாறுநிலை ஆழத்தை அடையவும்.

11·32. சீரான ஓட்டநிலையில் நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள 4 கிகி-மீ/கிகி. தன் ஆற்றலுக்கு பெரும பாயுவீதம் என்ன ?

11·33. தன் ஆற்றல் மாறிலியானால், பாயுவீதத்திற்கும் ஆழத்திற்குமுள்ள தொடர்பை விளக்குக.

11·34. ஒரு நீண்ட சதுரக் கால்வாய் 1 மீ ஆழத்தில் 50 மீ^{3}/வி நீரினளவுவீதத்தைக் கடத்தவேண்டுமானால் அதன் அகலம் என்ன ?

11·35. படத்திலுள்ள மதகுக் கதவிற்கு கீழ்ப்புறமுள்ள ஓட்டத்



தின் ஃப்ரூடு எண்ணின் மதிப்பைக் கணக்கிடு. $C_c = 0{\cdot}61$.

11·36. கணக்கு 11·35-ல் கீழ்ப்புற நீரோட்டத்தின் நிலையானது கதவின் பக்கத்தில் நீரியற் குதிப்பு ஏற்படுவதற்குச் சாதகமாக இருக்குமானால் குதிப்பிற்குப் பின்னுள்ள நீரின் ஆழம் யாது? குதிப்பிற்குப் பின்னுள்ள நீரோட்டத்தின் ஃப்ரூடு எண் என்ன?

11·37. நீரியற் குதிப்பாலுண்டாகும் ஆற்றலிழப்பை ஆழங்களால் காண்க.

11·38. ஒரு அணையில் 10 மீ அகலமுள்ள வழிகாலின் அடிப்பாகத்தில் வழிந்தோடும் நீரின் ஆழம், திசைவேகம் முறையே 0·5 மீ, 5 மீ/வி ஆகும். தொடர் ஆழத்தையும் மொத்த ஆற்றலிழப்பு/வி-யையும் கணக்கிடு.

11·39. ஒரே பாயுவீதத்தை சீராகக் கடத்தும் ஒரு சோதனை வாய்க்காலில் ஃப்ரூடு எண் 1-லிருந்து 3-க்கு அதிகரிக்கப்படுமானால், அதன் சரிவிலுள்ள மாறுதல் என்ன;

11·40. 3 மீ அகலம், 0·001 சரிவுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் 1·8 மீ ஆழத்தில் சீரான நீரோட்டம் நிகழ்கிறது. மானிங் எண் 0·015. இந்தக் கால்வாயில் (அ) மாறுநிலை ஓட்டத்தை குறுக்கிய பகுதியில் அடைய திட்டின் சிறும உயரம் யாது? (ஆ) குறுக்கிய பகுதியின் மாறுநிலை ஓட்டத்திற்குப் பெரும அகலம் யாது? (ஆற்றலிழப்பைப் புறக்கணி.)

11·41. 2·5 மீ அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் 1·8 மீ ஆழத்தில் நீரின் பாயுவீதம் 5 மீ^{3}/வி ஆகும். அதன் படுகையில் 0·15 மீ திட்டு கட்டப்பட்டால் திட்டிற்கு முன்புற ஆழம் எவ்வளவு மாறும் எனக் கணக்கிடு.

11·42. கணக்கு 11·41-ல் நீரின் ஆழத்தில் மாறுதலிருக்க வேண்டாமென்றால் திட்டின் உயரம் எவ்வளவு ?

11·43. சீரற்ற நீரோட்டத்திற்குக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டை வருவி.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{fyQ^2}{2m(Q^2-gby^2)}$$

இந்தச் சமன்பாட்டை விளக்கு.

11·44. படிப்படியாக மாறுபடும் ஓட்டத்தில் இரண்டு பகுதிகளிலுள்ள நீரின் ஆழங்களும் திசைவேகங்களும் கொடுக்கப்பட்டால் அந்த இரண்டு பகுதிகளுக்குமிடையேயுள்ள தூரம் என்ன ?

11·45. ஒரு கொடுக்கப்பட்டுள்ள ஆழவேறுபாட்டிற்குக் கட்டு நீரின் (backwater) நீளத்தை எப்படி அடையலாம் ?

11·46. 45 மீ அகலமுள்ள ஆற்றின் சராசரி ஆழம் 3 மீ. அதன் நீர்மட்டச் சரிவு 1:12000. அதில் ஏற்பட்டுள்ள ஆழ மாற்றம் 2·4 மீ ஆனால், கட்டுநீரின் நீளம் என்ன ? மானிங் எண் = 0·03.

11·47. 2 மீ அகலம், 0·0003 சரிவுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் நீரின் பாயுவீதம் 10 $மீ^3$/வி. மானிங் எண் = 0·013. நீரின் ஆழங்கள் பகுதி 1, 2-ல் முறையே 1 மீ, 0·85 மீ ஆனால் அந்த இரண்டு பகுதிகளுக்குமிடையேயுள்ள தூரம் என்ன?

11·48. கணக்கு 11·47-ல் பகுதிகள் 1,2-க்குமிடையேயுள்ள தூரத்தை எடுத்துக்கொண்டு, பகுதி 2-ல் ஆழம் 0·78 மீ-ஆக இருக்க N-ன் மதிப்பு என்னவாக இருக்கவேண்டும் ?

11·49. சீரற்ற ஓட்டமுள்ள ஆற்றில் 80 $மீ^3$/வி பாயுவீதத்தை கடத்தும்போது ஒரு இடத்தில் 2 மீ ஆழம் இருக்கிறது. அந்த ஆற்றின் அகலம் 20 மீ. படுகைச் சரிவு 1:5000 ஆகுமானால், அவ்விடத்தில் நீர்மட்டச் சரிவு என்ன ?

11·50. ஒரு கிடைமட்டமான நீண்ட சதுரக் கால்வாயின் குறுக்கே அதன் 0·3 மீ முழு அகலத்திற்கும் 0·04 மீ உயரமுள்ள ஒரு திட்டு உள்ளது. திட்டிற்கு மேற்புறத்தில் நீரின் ஆழம் 0·08 மீ. இந்தத் திட்டை அகலமுகட்டு அடைப்பாகக் கருதி, இதிலிருந்து தானே நீர் விழுமானால்

பாயுவீதத்தைக் கணக்கிடு. அணுகு திசைவேகத்திற்கு ஒரு திருத்தம் செய்க. தடை, வளைவுகளின் விளைவுகளைப் புறக்கணி.

11·51. ஒரு நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் 1·5 மீ ஆழத்தில் 2·0 மீ/வி திசைவேகத்தில் நீர் பாய்கிறது. அந்தக் கால்வாயின் பக்கச் சுவர்களின் உயரம் 2·5 மீ ஆகும். அந்த நீரோட்டமானது திடீரென்று ஒரு கதவால் தடைப்படுத்தப் பட்டால் நீரானது பக்கவாட்டில் வழியுமா? இதனால் ஏற்படும் எழுச்சி 100 மீ தூரத்தை மேற்புறத்தில் கடக்க என்ன நேரமாகும்?

11·52. 2 மீ அகலமுள்ள ஒரு நீண்ட சதுரக் கால்வாயில் நீரானது 1·5 மீ ஆழத்தில் 1 மீ/வி திசைவேகத்தில் பாய்கிறது. அந்தக் கால்வாய்க்குக் குறுக்கே என்ன அளவு பெரும உயரத் திட்டு நீரின் ஆழத்தை மேற்புறத்தில் மாற்றாது. திட்டிற்கு மேற்புறத்தில் நீரின் ஆழம் 2 மீ-ஆக உயர்த்தப்பட வேண்டுமானால் திட்டின் உயரம் எவ்வளவாக இருக்க வேண்டும்?

11·53. 1 மீ அகலமுள்ள பாதிப்பற்ற கலுங்கு வழியாக 0·3 மீ தலைப்பில் பாயும் நீரின் வீதத்தை கணக்கிடு. அணுகு திசைவேகம் 2 மீ/வி ஆனால் பாயுவீதம் எவ்வளவு அதிகரிக்கும்?

11·54. ஒரு முக்கோணக் கலுங்கின் வழி 0·35 மீ தலைப்பில் பாயும் நீரின் வீதத்தைக் காண்.

11·55. ஒரு சோதனைக் கால்வாய் வழியாக நீரின் பாயுவீதம் 0·4 மீ^{3}/வி. கால்வாயில் நீரின் ஆழத்தை அளப்பதில் 1·4 மிமீ தவறு ஏற்பட்டுவிட்டால் கீழ்க்கண்ட அமைப்புகளை நீரை அளக்கக் கையாளுவதால் ஏற்படும் பாயுவீதத் தவற்றை சதவீதத்தில் காண். (அ) 90° முக்கோண வடிவக் கலுங்கு (ஆ) 0·5 மீ நீளமுள்ள நீண்ட சதுர வடிவச் சிற்றணை. C_d-ன் மதிப்பு இரண்டு வகை அமைப்புகளிலும் 0·6 ஆகும்.

11·56. 0·5 மீ அகலம், 0·38 மீ ஆழமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயின் பாயுவீதத்தை அளக்க அதன் முடிவில் 0·3 மீ அடித்தள அகலமுள்ள சிப்போலெட்டி கலுங்கு பொருத்தப்பட்டிருக்கிறது. கலுங்கின் அடிப்பாகத்திற்கு

மேல் நீரின் உயரம் 0·28-ஆக இருக்குமானல் பாயு வீதத்தை லிட்டர்/விநடி என்ற அளவில் கணக்கிடவும். $C_d = 0{\cdot}63$.

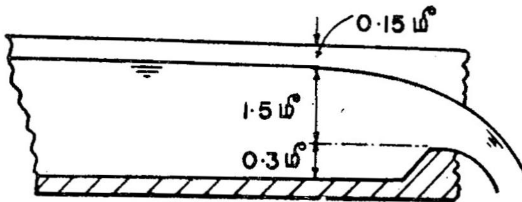
11·57. சுட்ரோ (Sutro) கலுங்கின் அமைப்பை விளக்குக. ஒரு சுட்ரோ கலுங்கானது அதன் அடிப்பாகத்திலிருந்து 20 மிமீ உயரத்தில் 80 மிமீ அகலமுள்ளதாக இருக்கிறது. நீரின் தலைப்பு 0·1 மீ ஆனல் பாயுவீதம் என்ன? $C_d = 0{\cdot}6$.

11·58. ஒரு பாதிப்பற்ற கலுங்கின் அகலம் 100 மிமீ. அதன் அடிப்பாகம் கால்வாயின் படுகையிலிருந்து 50 மிமீ உயரத்திலிருக்கிறது. அதன்வழி பாயும் நீரின் உயரம் 0·1 மீ-ஆக இருக்குமானல், (அ) அணுகு திசை வேகத்தைப் புறக்கணித்து, (ஆ) அணுகு திசை வேகத்தை கணக்கிற்கொண்டு பாயுவீதத்தைக் கணிக்கவும். பிரான்சிஸ் வாய்பாடைப் பயன்படுத்துக.

11·59. கணக்கு 11·58-ல் ரெஹ்பாக் வாய்பாடைப் பயன் படுத்திஞல் பாயுவீதத்தில் ஏற்படும் வேறுபாட்டைக் காண்.

11·60. ஒரு கூரிய முகடுடைய கலுங்கில் 0·5 மீ தலைப்பிற்கு 2 மீ^{3}/வி பாயுவீதமும், 0·9 மீ தலைப்பிற்கு 4·5 மீ^{3}/வி பாயு வீதமும் ஏற்படுகிறது. பிரான்சிஸ் வாய்பாடைப் பயன்படுத்தி 0·75 மீ தலைப்பிற்கு ஏற்படும் பாயுவீதத்தைக் கண்டுபிடிக்கவும்.

11·61. ஒரு 0·3 மீ அகலமுள்ள நீண்ட சதுரக் கால்வாயின் முடிவில் 0·3 மீ உயரத்தில் படத்திலுள்ளபடி 45° கோணச் சாய்வில் ஒரு கலுங்கு உள்ளது. நீரின் ஆழம்

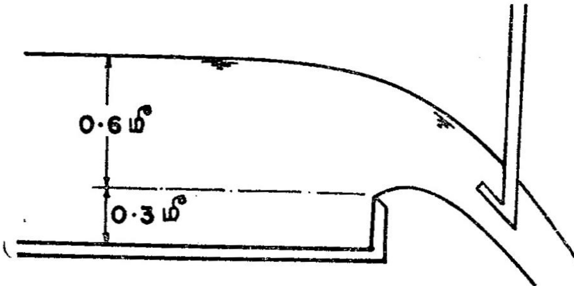


1·5 மீ. கால்வாயின் பக்க உயரம் மேலும் 0·15 மீ இருக்குமானல் எவ்வளவு அதிகமான பாயுவீதத்தை அந்தக் கால்வாய் கடத்த முடியும்? அணுகு திசை வேகத்தை எடுத்துக் கொள்ளவும். $C_d = 0{\cdot}78$.

11·62. ஒரு வழிகால் 1000 மீ³/வி பாயுவீதத்தை 3 மீ தலைப்பில் கடத்த வேண்டும். சிற்றணை நீளத்தை $Q=KLH^{\frac{3}{2}}$ என்ற சமன்பாட்டின் மூலம் கண்டுபிடி. $K=2{\cdot}4$.

11·63. 15 ச.கிமீ நீர்ப்பிடிப்பில் மழையானது 2 மிமீ/மணி என்ற வீதத்தில் பெய்கிறது. இதில் 60 சதவீதம் வடிகால் வழியாக வழியுமானல் அதைக் கடத்தக் கட்டிய 10 மீ நீளமுள்ள சிற்றணையில் என்ன ஆழத்தில் நீர் ஓடும்?

11·64. படத்தில் காட்டியுள்ள பிட்டாட் மானியில் கலுங்கின்



அடிப்பாகத்திற்கு மேல் எந்த உயரத்திற்கு நீர் வரும்?

11·65. ஒரு நீர்த்தேக்கத்தின் பரப்பு 200 மீ². அதை 0·3 மீ நீளமுள்ள நீண்ட சதுர வடிகாலால் அதன் அடிப் பாகத்திலிருந்து 0·08 மீ உயரத்திலிருந்து 0·06 மீ உயரத் திற்கு நீரின் ஆழத்தைக் குறைக்க எவ்வளவு நேரமாகும்? $C_d=0{\cdot}65$.

11·66. ஒரு முக்கோண வடிவ கலுங்கிலிருந்து வழியும் நீரின் பாயுவீதக் கெழு, அதனுடைய தலைப்பிற்குச் சம்பந்த மற்றது என்பதை விளக்குக.

11·67. 60° முக்கோண வடிவான கலுங்கு 60 லிட்டர்/வி பாயு வீதத்தை எந்தத் தலைப்பில் கடத்தும்?

11·68. 4 மீ × 1 மீ அளவுள்ள நீண்ட சதுரத் தொட்டியின் ஒரு பக்கத்தில் 90° முக்கோண வடிவக் கலுங்கு அமைக்கப் பட்டுள்ளது. $C_d=0{\cdot}61$ என எடுத்துக்கொண்டு, அந்தக் கலுங்கின் தலைப்பை 0 3 மீ-லிருந்து 0·2 மீ-க்குக் குறைக்க எவ்வளவு நேரமாகும்?

11·69. கணக்கு 11·68-ல் அந்தத் தொட்டியினுள் 3 லிட்டர்/ விஞடி வீதத்திற்கு நீரானது உள்ளே விழுமாஞல் மேலே குறிப்பிட்டுள்ள தலைப்பு மாற்றத்திற்கு எவ்வளவு நேரமாகும் ?

11·70. 10 மீ நீளமுள்ள பாதிப்பற்ற சிற்றணை 12 மீ^{3}/வி வீதத் திற்கு நீரைக் கடத்த வேண்டியதிருக்கிறது. அந்த சிற்றணை எண் 2·1 எனக் கொண்டு அந்தச் சிற்றணை யானது அதன் மேற்புறத்திலுள்ள நீரின் ஆழம் 3 மீ-க்கு அதிகமாகாதிருக்க எவ்வளவு உயரத்தில் அடிப்பாகம் அமைக்கப்படவேண்டும் எனக் கணக்கிடு.

11·71. 0·2 மீ விட்டமுள்ள குழாயின் முடிவிலுள்ள 0·1 மீ விட்டத் துளை வழியாக 0·9 ஒப்பு அடர்த்தியுடைய எண்ணெய், 10 கிகி/செமீ அழுத்தத்தால் வெளி மண்டலத்திற்கு வெளிவருகிறது. அவ்வாறு வெளிப்படும் எண்ணெய் ஒரு 90° முக்கோண வடிவக் கலுங்கால் அளக்கப்படுகிறது. அதிலுண்டாகும் தலைப்பு என்ன ?

11·72. 30 மீ நீளமும் 3 மீ அகலமுமுள்ள நீண்ட சதுர நீர்க் கால் (flume) அதன் முடிவிலுள்ள 3 மீ நீள பாதிப்பற்ற வடிகால் வழியாக 0·5 மீ தலைப்பில் நீரைக் கடத்திக் கொண்டிருக்கிறது. திடீரென்று கால்வாயினுள் விழும் நீரானது நிறுத்தப்பட்டால் 30 விஞடிகளில் சிற்றணையில் தலைப்பு என்ன ஆகும் ?

11·73. ஒரு அணைக்கட்டில் நீர்த்தேக்க மட்டத்திற்கும் அதன் கீழ்ப்புற நீர்மட்டத்திற்குமுள்ள வேறுபாடு 20 மீ. உச்ச பாயுவீதமான 1000 மீ^{3}/வி வெள்ளத்தைக் கடத்த 1 மீ ஆழமும் 4 மீ அகலமுமுள்ள எத்தனை வடிகுழாய் அமைப் புடைய வழிகால்கள் வேண்டும் ? $C_d = 0·6$.

11·74. கணக்கு 11·73-ல் வடிகுழாய் அமைப்புடைய வழிகால் களுக்குப் பதில் சாதாரண வழிகாலை நிறுவிஞல் அந்த வெள்ளத்தை 1 மீ தலைப்பில் கடத்த வழிகாலின் நீளம் என்ன வேண்டும் ?

11·75. அகலமுகட்டுச் சிற்றணையில் நீரின் பாயுவீதத்தைக் கணக்கிடு. 3 மீ நீளமுள்ள பாதிப்பற்ற அகலமுகட்டுச் சிற்றணையின் முன் முனையில் நீரின் ஆழம் 0·3 மீ; பின் முனையில் நீரின் ஆழம் 0·25 மீ இருக்குமாஞல் பாயுவீத மென்ன ?

11·76. அகலமுகட்டுச் சிற்றணையின்வழி பாயும் நீரின் மதிப்பு பெருமமாக இருக்க வேண்டுமானுல் அணுகு திசையைப் புறக்கணித்தால், சிற்றணையின் முன் முனை நீரின் ஆழ மானது, பின் முனை நீரின் ஆழத்தைவிட $1\frac{1}{2}$ மடங்கு அதிகமாக இருக்கவேண்டுமென நிரூபி. அப்படிப்பட்ட நிலையில் முன் முனை நீரின் ஆழம் 0·5 மீ ஆனுல், 1 மீ அகலத்திற்குப் பாயுவீதமென்ன?

11·77. 0·5 மீ^{3}/வி பெரும பாயுவீதமுள்ள ஒரு அகலமுகட்டுச் சிற்றணையின் முன் முனை, பின் முனைகளில் நீரின் ஆழங்கள் யாவை?

11·78. 2 மீ அகலமுள்ள மூழ்கிய நீண்ட சதுரச் சிற்றணையின் கீழ்க்கண்ட நிலைக்கு பாயுவீதத்தைக் கணக்கிடு. வடிகாலின் அடிப்பாகத்திலிருந்து முன்புற நீரின் ஆழம் 0·5 மீ. பின்புறத்தில் நீரின் ஆழம் 0·15 மீ. $C_d = 0{\cdot}61$.

11·79. 29 மீ அகலமுள்ள ஒரு கால்வாயின் அகலம் ஒரு பாலத் தின் அருகில் 21 மீ-ஆகக் குறுக்கப்படுகிறது. பாலத்திற் குப் பின்புறம் நீரின் ஆழம் 0·84 மீ-ஆக இருக்குமானுல் குறுக்கத்தால் ஏற்படும் பின்னுயர்வு எவ்வளவு?

11·80. கணக்கு 11·35 சம்பந்தமாகவுள்ள படத்திலுள்ள மதகுக் கதவில் நீராலுண்டாகும் கிடைவிசை அழுத்தப் பகிர்வை உத்தேசமாக வரைக.

11·81. அகலமுகட்டுச் சிற்றணைக்கும், உயர்க்கெழு வழிகாலுக்கு மான பாயுவீதக் கெழுக்களை ஒப்பிடுக. 20 மீ நீளமுள்ள வழிகால் வழியாக 4 மீ உயரத்தில் 1000 மீ^{3}/வி அளவில் நீர் கடத்தப்பட்டால் வழிகால் எண் என்ன?

கலைச் சொற்கள்

A

abrupt — திடீர்
absolute — தனி, சார்பிலா
absolute pressure — தனி அழுத்தம்
acceleration — முடுக்கம்
accuracy — துல்லிதம்
acoustic velocity — ஒலித் திசைவேகம்
action — வினை, செயல்
adhesion — ஒட்டுப்பண்பு
adhesive force — ஒட்டுவிசை
adiabatic process — வெப்ப மாற்றீடற்ற முறை
adjacent — அடுத்துள்ள
adverse — பாதகமான
aerodynamics — காற்று இயக்கவிசையியல்
aerostatics — காற்று நிலையியல்
aeronautics — விமானயியல்
afflux — பின்னுயர்வு
air-conditioner — குளிர்ச் சாதனம்
air-compressor — காற்றமுக்கி
airfoil — இறக்கை யமைப்பு
algebraic — இயற்கணித
alternate depth — மாற்று ஆழம்
amplitude — வீச்சு
analytic — கொள்கைரீதியான
analogy — ஒப்புமை, ஒருமைப்பாடு
analysis — பகுப்பாய்வு
Aneroid Barometer — அனிராய்டு பாரமானி
angle of attack — தாக்குக் கோணம்
angle of divergence — விரிவுக் கோணம்
angle of heel — ஒருபுறச் சாய்வுகோணம்
angular velocity — கோணத் திசைவேகம்
angular deformation — கோணவடிவ மாற்றம்
annulus — இடைவெளி
anti-clockwise — இடஞ்சுழியாக

appendix — பின்னிணைப்பு
application — செயற்பாடு
approximate — தோராயம்
aqueduct — கட்டுக் கால்வாய்
arbitrary — யாதாமொரு
area moment — பரப்புத் திருப்புதிறன்
aspect ratio — வடிவ விகிதம்
assumption — தற்கோள்
astronautics — விண்ணியல்
asymptote — ஈற்றணுகி
atmosphere — வளிமண்டலம்
atmospheric pressure — வளிமண்டல அழுத்தம்
Axisymmetrical — அச்சுச் சமச்சீர்

B

back water — தேக்கநீர்
baffle — தடுப்பு
barometer — பாரமானி
barrier — தடுப்பு
bearing — தாங்கி
bearing plate — தாங்கும் தகடு
bed — படுகை
bed slope — படுகைச் சரிவு
bellow — துருத்தி
bend — வளைவு
bend meter — வளைவு மானி
Bernouilli — பெர்னூலி
bill-board — விளம்பரப் பலகை
Binomial theorem — ஈருறுப்புத் தேற்றம்
blower — காற்றூதி
blunt body — தட்டை உருவம்
body force — தனிம விசை, உருவ விசை
bomb — குண்டு
bore — நீரேற்றம்
bore well — குழாய்க் கிணறு
Bourdon gauge — போர்டன் அழுத்தமானி
boundary — எல்லை, ஓரம்
boundary condition — எல்லை நிபந்தனை
boundary layer — எல்லைப் படலம்

boundary layer theory — எல்லைப் படலக் கொள்கை
boundary layer thickness — எல்லைப் படலக் கனம்
Boussinesq — பொசினெஸ்க்
branching pipes — கிளைக்குழாய்கள்
broad-crested weir — அகலமுகட்டு அடைப்பு
bubble — குமிழி
Buckingham — பக்கிங்ஹாம்
bulk modulus — பரும மீட்சிக்குணகம்
buoy — மிதவை
buoyancy — மிதப்பாற்றல் .
buoyant force — மிதவை விசை

C

calibrate — அளவு திருத்தம் செய்
calibration — அளவு திருத்தம்
camber — மேல் வளைவு
canal — கால்வாய்
cancel — அழித்தல், அழி
cartesian coordinate — தேக்காட்டின் அச்சுத்தூரம்
capacity coefficient — கொள்ளளவுக் கெழு
capillary — நுண்குழாய், நுண்புழை
capillary rise — நுண்புழை ஏற்றம்
capillary tube — நுண்புழைக் குழாய்
capillary wave — நுண்புழை அலை
Cauchy — காஷி
cavitation — குமிழ்தல்
celerity — அலைத் திசைவேகம்
centrifugal — மைய நோக்கு
centripetal — மைய விலக்கு
centroid — எடை மையம்
centre of buoyancy — மிதப்பாற்றல் மையம்
centre of gravity — எடைமையம், ஈர்ப்பு மையம்
centre of pressure — அழுத்த மையம்
channel — கால்வாய்
characteristics — சிறப்பியல்பு, தற்சிறப்பு
chocking — திணறல்
chocked flow — திணறிய ஓட்டம்
chord — நாண்
chute — சாய்வு வாய்க்கால்

chute spillway — சரிவு வழிகால்
circular annulus — ஒரே அச்சுள்ள குழாய்களிடை வெளி
circuit — சுற்று
circulation — சர்க்குலேஷன், சுற்றுதல்
circumferential stress — சுற்றளவுத் தகைவு
clamp — கவ்வி
classification — பாகுபாடு
clear jump — தெளிவான குதிப்பு
clockwise — வலஞ்சுழியாக
clockwise moment — வலஞ்சுழி திருப்புதிறன்
coefficient — கெழு
coefficient of contraction — குறுக்கக் கெழு
coefficient of discharge — பாயுவீதக் கெழு
coefficient of drag — இழுவிசைக் கெழு
coefficient of friction — உராய்வுக் கெழு
coefficient of velocity — திசைவேகக் கெழு
cohesion — பற்றுப்பண்பு, தானிணையுந் தன்மை
cohesive force — பற்று விசை, தானிணை விசை
Colebrook — கூல்புருக்
commercial pipe — வாணிகக் குழாய்
compaction — நெருக்கம்
component — கூறு
compressible — அமுக்க
compressibility factor — அமுக்கக் கெழு
compressible flow — அமுக்கப் பாய்ச்சல் அமுக்க ஓட்டம்,
compressible fluid — அமுக்கப் பாய்மம்
compression shock wave — அமுக்க அதிர்ச்சி அலை
concentration — செறிவு
concrete — கான்கிரீட்
condition — நிபந்தனை, நிலை
conductor — கடத்தி
conduit — பாய்மக் கடத்தி
conical mouth-piece — கூம்பு வாயருகு கருவி
conjugate depth — இணை ஆழம்
constant — மாறிலி
constant of integration — தொகையீட்டு மாறிலி
constriction — குறுக்கம்
contact — தொடுகை

contact angle — தொடுகைக் கோணம்
contact area — தொடு பரப்பு
continuity equation — தொடர்ச் சமன்பாடு
continuum — தொடர்மம்
control volume — ஆட்சிபருமன்
converge — குவி
converse — மறுதலை
convergent-divergent — குவிந்து விரியும்
convergent-divergent nozzle — குவிந்து விரியும் முனை
convective acceleration — இடஞ்சார்ந்த முடுக்கம்
convergent-conical mouth-piece — குவிந்த கூம்பு வாயருகு கருவி
correlation — ஒட்டுறவு
correction — திருத்தம்
correction factor — திருத்தக் கூறு, திருத்தக் கெழு
Couette flow — கூவட் ஓட்டம்
couple — இரட்டை
creeping motion — ஊரும் இயக்கம்
crest — முகடு
critical — மாறுநிலை
critical slope — மாறுநிலைச் சரிவு
cross-section — குறுக்கு வெட்டு, வெட்டுமுகம்
crude oil — கச்சா எண்ணெய்
crystalline — படிக அமைப்புள்ள
culvert — தளப் பாலம்
cup — கோப்பை
current — மின்சாரம், ஓட்டம்
current meter — திசைவேக மானி
cycle — சுற்று
cylinder — உருளை
cylinderical coordinate — உருளைக் கூறு

D

D'Alembert — டி'லம்பார்ட்டு
Darcy — டார்ஸி
dash pot — தடைக் கிண்ணம், தடைக் கருவி
datum — மட்ட அளவை
datum head — மட்டத்தலைப்பு, மட்ட உயரம்

deduce — உய்த்துணர்
defect — குறைபாடு
define — வரையறு
definition — வரையறை
deformation — வடிவமாற்றம்
degree — டிகிரி
De Laval — டிலாவால்
delivery pipe — அனுப்பு குழாய்
denominator — விகுதி
density — அடர்த்தி
dependent variable — சார்ந்த மாறும் அளவு
dependent quantity — சார்ந்த அளவை
depreciation — மதிப்புக் குறைவு
derive — வருவி
derivation — வருவித்தல்
derivative — வகைக் கெழு
derived quantity — வழிவந்த அளவை
description — விளக்கம்
detached shockwave — பிரிந்த அதிர்ச்சி அலை
development — முதிர்ச்சி
diagram — விளக்கப்படம்
diametral clearance — விட்ட இடைவெளி
differentiate — வகையிடு
differential equation — வகையீட்டுச் சமன்பாடு
diffuser — விரவி, பரப்பி
dimension — பரிமாணம்
dimensionless — பரிமாணமற்ற
dimensional — பரிமாண
dimensional analysis — பரிமாணப் பகுப்பாய்வு
dimensional homogeneity — பரிமாண ஒருபடித்தான
dimensional number — பரிமாணமற்ற எண்
discharge — பாயுவீதம், பாயும்விதம்
displacement — இடப்பெயர்ச்சி
displacement thickness — இடப்பெயர்ச்சிக் கனம்
distorted — உருத்திரிந்த
distortion — உருத்திரிபு
disturb — தொந்தரவு செய்
disturbance — உலைவு, சலனம்
ditch — வாய்க்கால்
divergent mouth-piece — விரிந்த வாயருகு கருவி

diverge	—	விரி
diving bell	—	மூழ்கு கூண்டு
dock gate	—	கப்பற் துறைக்கதவு
doublet	—	இருமடி
downwash	—	கீழ் நோக்கி ஓட்டம்
down stream	—	கீழ்ப்புறம், கீழ்நோக்கி, ஓட்டத் திசையில்
drag	—	இழு
drag force	—	இழு விசை
draft	—	ஆழம்
draft tube	—	டிராஃப்ட் குழாய்
drainage	—	வடிகால்
dynamics	—	இயக்க விசையியல்
dynamic eddy viscosity	—	இயக்க விசைச் சுழற் பாகுநிலை
dynamic viscosity	—	இயக்கவிசைப் பாகுநிலை
dyne	—	டைன்

E

eccentricity	—	நடுவிலிருந்து விலகிய தூரம்
economic	—	விகித ஆதாயமுள்ள
eddy	—	சுழல்
eddy viscosity	—	சுழற் பாகுநிலை
efficiency	—	திறம்
efflux	—	வெளிப்படும் தாரை
ejector	—	உந்தி
elastic force	—	மீட்சி விசை
elastic limit	—	மீட்சி எல்லை
elastic modulus	—	மீட்சிக் குணகம்
elastic medium	—	மீட்சி ஊடகம்
elastic wave	—	மீட்சி அலை
elasticity	—	மீட்சித் தன்மை
electrical analogy	—	மின் ஒப்புமை
electrical circuit	—	மின்சாரச் சுற்று
electrical field	—	மின் புலம்
electrolyte	—	மின் பகுபொருள்
element	—	தனிமம்
elevation head	—	மட்டத் தலைப்பு
elliptic	—	நீளவளைய, நீள்வட்ட
ellipse	—	நீள்வட்டம்
empirical	—	அனுபவ, பட்டறிவு

energy loss — ஆற்றலிழப்பு
energy thickness — ஆற்றல் கனம்
enlargement — விரித்தல்
enlargement, sudden — திடீர் விரித்தல்
engine — என்ஜின்
enthalphy — என்தால்பி
entrance length — நுழைவு நீளம்
entropy — என்ட்ரபி
equation — சமன்பாடு
equation of state — நிலைச் சமன்பாடு
equal — சமமான
equilibrant — சமனி
equilibrium — சமநிலை
equivalent — சமமதிப்புள்ள
equivalent length — சமமதிப்பு நீளம்
erosion — அரிப்பு
establish — நிலை நாட்டு
establishment of flow — ஓட்ட நிலைநாட்டம், பாய்ச்சல் நிலைநாட்டம்
Euler — ஆய்லர்
Eulerian method — ஆய்லர் முறை
exact — திருத்தமான, பிழையற்ற
exit loss — வெளியேற்ற இழப்பு
expansion — விரித்தல்
expansion shock — விரிவு அதிர்ச்சி
expansion wave — விரிவு அலை
exponent — அடுக்குக் குறி
expression — கோவை
external — புற
extrapolate — புறச் செருகு வெளிநீட்டு
external mouth piece — புற வாயருகு கருவி

F

fan — காற்றுடி
Fanno line — ஃபானோ கோடு
favourable — சாதகமான
field — புலம்
figure — படம்
film — படலம், படிவம்
finite — முடிவுள்ள

finite difference — முடிவுள்ள வேறுபாடு

final — இறுதி, முடிவு

fixed bed — நிலையான, படுகை

flat plate — தட்டைத்தகடு, பட்டைத்தகடு

flotation — மிதவை, மிதக்கவிடம்

flow — பாய்ச்சல், ஓட்டம்

flow field — பாய்ச்சல் புலம்

flow net — பாய்ச்சல் வலை

flow pattern — பாய்ச்சல் படிவம்

flow work — பாய்ச்சல் வினை

fluctuating — மாறிக் கொண்டிருக்கும்

fluid — பாய்மம்

fluid coupling — பாய்மப் பொருத்தி

fluid friction — பாய்ம உராய்வு

fluid machine — பாய்ம எந்திரம்

flume — நீர்க்கால், நீர்க்கால்வாய்

forced vortex — திணிச் சுழல்

foot step — அடிக்கால் தாங்கி

foot valve — அடி வால்வு, பாத வால்வு

form drag — அமைப்பு இழுவிசை

formula — வாய்பாடு

forward momentum — முன் உந்தம்

Francis — பிரான்சிஸ்

free — தானே, கட்டற்ற

free stream — கட்டற்ற பாய்ச்சல்

free stream velocity — கட்டற்ற திசைவேகம்

free surface — கட்டற்ற மேற்பரப்பு

free vortex — கட்டற்ற சுழல்

friction — உராய்வு

friction drag — உராய்வு இழுவிசை

friction factor — உராய்வுக் கெழு

frictional loss — உராய்வு இழப்பு

Froude — ஃப்ரூடு

fuel oil — எரி எண்ணெய்

function — சார்பு, சார்பலன்

fundamental — அடிப்படை

G

gap — இடைவெளி

gas — வாயு

gauge pressure — மானி அழுத்தம்
gear — பல்லிணை
gradual — படிப்படியாக
graduate — குறியிடு
graph — வரைபடம்
gravity wave — ஈர்ப்பு அலை
grid — வலை, சதுக்கம்
ground water — நிலநீர்
growth — வளர்ச்சி
guide vane — வழிகாட்டித் தகடு

H

Hagen — ஹேகன்
half — பாதி
half body — பாதி உருவம்
Hardy Cross — ஹார்டி கிராஸ்
head — தலைப்பு, உயரம்
head coefficient — தலைப்புக் கெழு, உயரக் கெழு
heat transfer — வெப்பப் பரிமாற்றம்
heel — பின்புறம்
higher order — உயர் வரிசை
hole — துளை
hollow — உள்ளீடற்ற
homogeneous — ஒருபடித்தான
homogeneity — ஒருபடித்தன்மை
homologous — அமைப்பில் ஒத்துள்ள
horizontal — கிடையான, கிடை
horizontal level — கிடை மட்டம்
horizontally — கிடையாக
hull — உடற்பகுதி
hump — கூன், திட்டு
hydrodynamics — நீர் இயக்க விசையியல்
hydrometer — ஒப்பு அடர்த்தி மானி, திரவமானி
hydronautics — நீர்ச்சாதனவியல்
hydrostatics — நீர் நிலையியல்
hydraulic depth — நீரியலாழம்
hydraulic gradient — நீரியற் சரிவு
hydraulic jump — நீரியற் குதிப்பு
hydraulic radius — நீரியலாரம்

hydroelectric plant — நீர் மின்சார நிலையம்
hypothetical — கற்பித
hypothesis — புனைவுகோள்

I

ideal — இலட்சியம்
ideal flow — இலட்சிய ஓட்டம், இலட்சிய பாய்ச்சல்
ideal fluid — இலட்சிய பாய்மம்
imaginary — கற்பனை
impact — மோதல்
impeller — இயக்கி
impermeable — ஊடுருவா
implicit equation — உட்படு சமன்பாடு
impulse — கணத்தாக்கு
impulsive force — கணத்தாக்கு விசை
implosion — உள்நோக்கு வெடிப்பு
inclined manometer — சாய்வு அழுத்தமானி
incompressible — அமுக்கமற்ற
increment — கூடுந்தொகை
independent variable — சாரா மாறி, தனித்துவ மாறி
independent quantity — தனித்துவ அளவை
Indian Standard — இந்திய தரநிர்ணயம்
induced drag force — தூண்டப்பட்ட இழுவிசை
inertia — நிலைமம், சடத்துவம்
inertial force — சடத்துவ விசை
inferential meter — உய்த்துணர் மானி
infinity — வரம்பிலி, வரம்பிலா
infinite — வரம்பிலா, எண்ணிலா
initial — தொடக்க
initial error — தொடக்கத் தவறு
inlet — நுழைவாய்
instability — நிலைப்பாடற்ற
instantaneous — கணத்து
integrate — தொகையிடு
interface — சந்திப்புத்தளம்
interfacial flow — சந்திப்புத்தளப் பாய்ச்சல்
interference — குறுக்கீட்டு விளைவு
internal — அக
internal energy — அக ஆற்றல்

internal mouth piece — அக வாயருகு கருவி
interpolate — இடைச் செருகு
inverted — தலைகீழ்
inviscid — பாகுநிலையற்ற, பிசுபிசுப்பற்ற
irrotational — சுழற்சியற்ற
irreversible — திருப்பக்கூடம்
isentropic process — தடையற்ற வெப்பமாற்றீடற்ற முறை
isothermal process — வெப்பநிலை மாறா முறை

J

jet — ஜெட், தாரை
Joule — ஜூல்
journal bearing — தட்டை தாங்கி
junction — சந்திப்பு

K

Karman vortex trail — கார்மன் சுழற் தொடர்
Kelvin — கெல்வின்
kinematics — இயக்கவியல்

L

Lagrangian method — லெக்ராஞ்சி முறை
lamina — படலம்
laminar flow — படல ஓட்டம்
laminar profile — படல அமைப்பு
laminar sublayer — படல உட்பிரிவு, படல உட்படலம்
large orifice — பெரிய துளை
lateral — பக்கவாட்டில்
lateral force — பக்க விசை
latitude — அட்சரேகை
Laplace — லெப்லாஸ்
layer — படலம்
law — விதி
leading edge — முன் விளிம்பு
lift — தூக்கு
lift force — தூக்கு விசை
limb — புயம்
limitation — கட்டுப்பாடு

linear — நேர்போக்கு, நேரான, நேர் கோட்டு
linear acceleration — நேர்கோட்டு முடுக்கம்
linear deformation — நேர் வடிவமாற்றம்
lining — பூச்சு
liquid — திரவம்
load — பளு
lock — பூட்டணை
lock gate — பூட்டணைக் கதவு
local acceleration — காலஞ்சார்ந்த முடுக்கம்
local Reynolds number — இடஞ்சார்ந்த ரெயினல்ஸ் எண்
locus — நியம பாதை
longitudinal — நீளவாட்டில்
logarithm — மடக்கை
lubricating oil — உயவெண்ணெய்
lubrication — உயவிடல்
lubricant — உயவு
lump — கொத்து

M

Mack — மாக்
Mack angle — மாக் கோணம்
Mack cone — மாக் கூம்பு
magnification — உருப் பெருக்கம்
main flow — முக்கிய பாய்ச்சல், முக்கிய ஓட்டம்
maintenance — மராமத்து
manometer — அழுத்தமானி
mass — பொருண்மை, நிறை
mass flux — பொருண்மை அடர்த்தி
mast — பாய்மரம்
matrix — அணி
maximum — பெருமம், உச்ச
mechanical energy — எந்திர ஆற்றல்
mechanical meter — எந்திர அமைப்புள்ள மானி
mechanics of a particle — துகளியக்கவியல்
medium — ஊடகம்
metacentre — மிதவைக் காப்பு மையம்
metacentric height — மிதவைக் காப்புயரம்
meniscus — பிறைத்தலம்

mild flow — இலேசான ஓட்டம்
mild slope — இலேசான சரிவு
micrometer screw — நுண் திருகுமானி
minor loss — சிறிய இழப்பு
minimum — சிறுமம், சிறிய
missile — ஏவுகணை
mixing length — கலத்தல் நீளம்
model — மாதிரி
model experiment — மாதிரிச் சோதனை
model ratio — மாதிரி விகிதம்
model scale — மாதிரி அளவுகோல்
model study — மாதிரி பற்றிய படிப்பு
modular — அமைப்பான
mole — மோல்
molecule — மூலக்கூறு
molecular force — மூலக்கூறு விசை
moment — திருப்புதிறன்
moment of inertia — சுழற் சடத்துவம்
momentum — உந்தம், நகர்ச்சி வேகம்
momentum exchange — உந்தப் பரிமாற்றம்
momentum thickness — உந்தக் கனம்
momentum transfer — உந்தப் பெயர்வு
Moody — மூடி
Moody diagram — மூடி வரைபடம்
motor — மோட்டார்
motion — இயக்கம்
mouth piece — வாயருகு கருவி
movable bed — நகரும் படுகை, நிலையற்ற படுகை
movement — நகருதல், நிலைமாறு
moving plate — நகரும் தகடு

N

Navier-Stokes — நாவியர்-ஸ்டோக்ஸ்
negative — எதிர்
neglect — புறக்கணி
net work — வலை அமைப்பு
nucleus — உட்கரு
neutral equilibrium — நடுநிலைச் சமநிலை
Newtonian fluid — நியூட்டன் பாய்மம்

Nikuradse	—	நிகுராட்ஸே
non-compressible	—	அமுக்கமற்ற
non-linear	—	நேர் போக்கற்ற
non-prismatic	—	பட்டகமற்ற
non-transparent	—	ஒளி புகா
normal	—	இயல்பான, நேர்குத்து
normal acceleration	—	நேர்குத்து முடுக்கம்
normal depth	—	இயல்பான ஆழம்
notch	—	கலுங்கு
nozzle	—	முனை
nozzle meter	—	முனை மானி
numerator	—	பகுதி

O

oblique shock	—	சரிவான அதிர்ச்சி
one-dimensional	—	ஒரு பரிமாண
open cut	—	மடை
open system	—	திறந்த அமைப்பு
optimum	—	மிகச் சிறந்த
orientation	—	திசை அமைப்பு
orifice	—	துளை
orifice meter	—	துளை மானி
oscillatory	—	அலைவுறும்
outlet	—	வெளிவாய்

P

Parabola	—	பரவளைவு
parachute	—	வான்குடை
paradox	—	முரண்
parallel pipes	—	இணை குழாய்கள்
parantheses	—	பிறைகள்
partial derivative	—	பகுதி வகைக்கெழு
partial differential	—	பகுப்பு நுண் வகைக்கெழு
partial differential equation	—	பகுதி வகையீட்டுச் சமன்பாடு
particle	—	துகள்
parallelopiped	—	இணைகரத்தின் திண்மம்
Pascal Law	—	பாஸ்கல் விதி
path line	—	பாதைக் கோடு
Penstock	—	பென்ஸ்டாக்
Pelton	—	பெல்டன்

percent — சதவிகிதம், நூற்றுக்கு
perfect gas — நிறைவுடை வாயு
permeability — ஊடுபரவுந்தன்மை
permeable — ஊடுபரவும்
period — அலைநேரம்
peripheral velocity — விளிம்புத் திசைவேகம், ஓரத் திசைவேகம்
perpendicular — நேர்குத்து
pier — பாலத்தூண்
piezometer — குழாய் மானி
piezometric head — குழாய் மானித் தலைப்பு, குழாய் மானி உயரம்
pipe — குழாய்
pipe connection — குழாய் இணைப்பு
pipe fittings — குழாய்ச் சாதனங்கள்
pipe network — குழாய் வலையமைப்பு
piston — உந்து தண்டு
pitch circle — சுருதி வட்டம்
pitot meter — பிட்டாட் மானி
pitot tube — பிட்டாட் குழாய்
pivot — கீல்
plan — நில்ப்படம், கிடைப்படம்
plaster — சாந்து
platinum — பிளாட்டினம்
plunger — கனத் தண்டு
polar angle — துருவக் கோணம்
pollution — தீட்டு
polytropic — பாலிடிராபிக்
pointer — குறிமுள்
pointing — இணைப்புப் பூச்சு
point of intersection — வெட்டுப் புள்ளி
Poiseuille — பாய்ஸேயி
pontoon — படகுப் பாலம், படகு
porosity — நுண்துளையுடைய
porous media — நுண்துளை நிறைந்த ஊடகம்
positive — நேர்
positive displacement meter — இடம்பெயர் அமைப்புள்ள மானி
potential flow — அழுத்தப் பாய்ச்சல்
potential head — அழுத்தத் தலைப்பு, நிலை உயரம்

power coefficient — திறன் கெழு
pressure — அழுத்தம்
pressure diagram — அழுத்தப் படம்
pressure force — அழுத்த விசை
pressure gradient — அழுத்தச் சரிவு
pressure head — அழுத்தத் தலைப்பு, அழுத்த உயரம்
pressure intensity — அழுத்தச் செறிவு
principle — கோட்பாடு, தத்துவம்
prismatic — பட்டக
problem — உத்திக்கணக்கு
process — தொடர் நிகழ்ச்சி, முறை
profile — பக்கத் தோற்றம்
profile drag — தோற்ற இழுவிசை
prefix — முன்னொட்டு
projected — எறி
projected area — எறி பரப்பு
propagation — பரவுதல்
propeller — முன் தள்ளு சுழலி
properties — சிறப்பியல்புகள், பண்புகள்
proportionality constant — விகித மாறிலி
propulsion — தள்ளுதல்
propulsive force — தள்ளு விசை
prototype — மூல முன்மாதிரி
protrusion — முனை
pull — இழு
pump — பம்பு
pumping — ஏற்றுதல்

Q

quantity — அளவை

R

radial direction — ஆரத் திசை
radius — ஆரம்
Raleigh — ராலே
Raleigh line — ராலே கோடு
rank — தரம்
Rankine body — ராங்கின் உருவம்
Rankine combined vortex — ராங்கின் கூட்டுச் சுழல்

rapidly varied — விரைவாக மாறும்
rarefied — அடர் குறைவான
rate — வீதம்
rate of flow — பாயுவீதம், பாயும்வீதம்
ratio — விகிதம்
reaction — எதிர்வினை, எதிர்செயல்
reading — காட்சிபதிவு
real — மெய்
real fluid motion — மெய்ப்பாய்ம ஓட்டம்
receive — ஏற்றுக்கொள்
rectangular — நீண்ட சதுர
recurring expenditure — தொடர்ந்து ஏற்படும் செலவு
reducer — குறைவு, சுருக்கம்
reflection — எதிரொளிப்பு
region — மண்டலம், பகுதி
reject — நிராகரி
relative density — ஒப்பு அடர்த்தி
relative velocity — ஒப்புத் திசைவேகம்
relaxation method — தளர்த்து முறை
repeating variable — திரும்பவரும் வேறுபாடு
resistance — தடை
restriction — வரம்பு
resultant (force) — தொகுபயன் (விசை)
reversible — திரும்பக் கூடிய
Reynolds — ரெயினல்ஸ்
Reimann — ரீமான்
rigid — திண்மையான, திடமான
rising limb — உயரும் புயம்
rolling friction — உருள் உராய்வு
rotameter — சுழல் மானி
rotation — சுழற்சி
rotational — சுழற்சியுள்ள
rotor — சுழலி
rough — சொரசொரப்பான
roughness — சொரசொரப்பு
roughness factor — சொரசொரப்புக் கெழு

S

saturated — தெவிட்டிய
scale effect — அளவுகோல் விளைவு

Schlichting — ஷ்லிஷ்டிங்
screen — திரை
second — விஞடி
secondary flow — இரண்டாம்தர ஓட்டம்
section — வெட்டு, வெட்டுமுகம்
sediment — வண்டல்
semi-empirical — பகுதி அனுபவ
sensitivity — நுட்பம்
separation — பிரிதல்
separation point — பிரியும் புள்ளி
series — தொடர்
series pipes — தொடர் குழாய்கள்
shaft — தண்டு
shear — சறுக்குப் பெயர்ச்சி
shear force — சறுக்குப் பெயர்ச்சி விசை
shear stress — சறுக்குப் பெயர்ச்சித் தகைவு
shear velocity — சறுக்குத் திசைவேகம்
shift — பெயர்ச்சி
shock — அதிர்ச்சி
shock front — அதிர்ச்சி முகடு
shock wave — அதிர்ச்சி அலை
shooting (or) rapid flow — வெறியோட்டம்
sign — குறியீடு
significance — முக்கியத்துவம்
silt — வண்டல்
similitude — ஒப்புமை
simple pendulum — தனி ஊசல்
sink — ஆழ்புழை
singularity — விசித்திரப் புள்ளி
skin friction — புறப்பரப்பு உராய்வு
skin friction drag — புறப்பரப்பு உராய்வு இழுவிசை
sleeve — உறை
slip — நழுவல்
slipper bearing — நழுவும் தாங்கி
slipper block — நழுவும் கட்டை
slip stream — நழுவிச் செல்லும் ஓட்டம்
slit — கீரல்
slot — துளை
sluice — மதகு, கண்மாய்

sluice gate — மதகுக் கதவு
small orifice — சிறிய துளை
smooth — வழவழப்பான
solenoid — வரிச் சுருள்
solid mechanic — திட எந்திரவியல்
solitary wave — தனி அலை
solution — தீர்வு
solve — தீர்த்தல்
sonic velocity — ஒலித் திசைவேகம்
source — ஊற்று
space — வெளி
span — கண்
specific energy — தன் ஆற்றல்
specific heat — வெப்ப எண்
specific speed — தனி வேகம்
specific volume — நிறையலகு பருமன்
specific weight — அலகு பருமனெடை
sphere — கோளம்
spillway — வழிகால்
spillway dam — வழிகால் அணை
spring — சுருள்வில்
square — இருமடி, சதுரம்
square root — வர்க்கமூலம்
stability — நிலைப்பாடு
stable equilibrium — உறுதிச் சமநிலை
stagnation point — தேக்கப் புள்ளி
stagnation tube — தேக்கக் குழாய்
stall — நிலைப்பிறழ்ச்சி, இருக்கை
stalling angle — இருக்கைக் கோணம்
standard — படித்தர
standard atmospheric pressure — தர வளிமண்டல அழுத்தம்
static force — நிலை விசை
state — நிலை
Stanton — ஸ்டான்டென்
statistics — புள்ளியியல்
steady — நிலையான
steep slope — செங்குத்தான சரிவு
stem — தண்டு
stilling basin — அசைவிலாக் குட்டை
strain — திரிபு

strain energy — திரிபு ஆற்றல்
strain gauge — விகார மானி
strata — படுகை
streak line — கீற்றுக் கோடு
stream function — இழைச் சார்பு
streamline — இழைக் கோடு
streamline body — இழைக் கோட்டு வடிவ அமைப்பு
streamline flow — இழைக் கோட்டுப் பாய்ச்சல்
streamlined motion — இழைக் கோட்டு இயக்கம்
stream surface — இழைப் பரப்பு
stream tube — இழைக் குழாய்
strength — வலிமை
stress — தகைவு
strong — வலுவான
structure — கட்டிட அமைப்பு
subcritical — கீழ்ப்பட்ட மாறுநிலை
subsonic velocity — கீழ்ப்பட்ட ஒலித் திசைவேகம்
suction — உறிஞ்சுதல்
suction pipe — உறிஞ்சு குழாய்
suffix — பின்னொட்டு
sump — பாதாளத் தொட்டி
supercritical — மேம்பட்ட மாறுநிலை
supersonic velocity — மேம்பட்ட ஒலித் திசைவேகம்
suppressed — பாதிப்பற்ற
surface drag — புறப்பரப்பு இழுவிசை
surface energy — புறப்பரப்பு ஆற்றல்
surface slope — புறப்பரப்பு சரிவு
surface tension — நுண்புழை விசை
surface velocity — புறப்பரப்புத் திசைவேகம்
surge — எழுச்சி
surge tank — எழுச்சித் தொட்டி
surplus weir — வடிச்சிற்றணை
syphon — வடிகுழாய்
system — அமைப்பு

T

Tainter gate — டெயின்டர் கதவு
tangential acceleration — தொடுகோட்டு முடுக்கம்

temporal — நிலையற்ற
term — உறுப்பு, கூறு
theorem — தேற்றம்
theoretical efficiency — கொள்கைத் திறம்
thickness — கனம்
Thoma — தோமா
throat — தொண்டை
three-dimensional — முப்பரிமாண
thermodynamics — வெப்ப இயக்கவிசையியல்
thermometer — வெப்பநிலை மானி
thrust — தள்ளுவிசை, அமுக்கம்
tide — வேலை அலைவு
time — நேரம், காலம்
tip vortice — விளிம்புச் சுழல்
toe — கீழ்முனை
Torricelli — டாரிசெல்லி
torpedo — டார்பிடோ
torque — இரட்டைத் திருப்புதிறன்
total differential — மொத்த ஆற்றல் கோடு
total discharge — கூட்டிய நுண்வகைக் கெழு
total energy line — மொத்த பாயுவீதம்
total head — மொத்தத் தலைப்பு, மொத்த உயரம்
transit — கடத்து
transition — மாறுபடும் நிலை
transition region — மாறுபடும் மண்டலம்
translatory — இடப்பெயர்ச்சி, நேர்ப் பெயர்ச்சி
translation — நேர்ப் பெயர்ச்சி
transmission efficiency — கடத்து திறம்
transparent — ஒளிபுகும்
tranquil flow — சாந்த ஓட்டம், இலேசான ஓட்டம்
trapezoidal — சரிவக
trash rack — செத்தை தடுக்கும் வலை
triangle — முக்கோணம்
trough — அகடு
truss — தூலக்கட்டு
tube — குழாய்
tunnel — புழல்

tungsten	—	டங்ஸ்டன்
turbulent	—	கொந்தளிப்பு
turbulent flow	—	கொந்தளிப்பு ஓட்டம், கொந்தளிப்பு பாய்ச்சல்
two-dimensional	—	இருபரிமாண

U

undular jump	—	அலை அலையான குதிப்பு
uniform	—	சீரான
uniform flow	—	சீரான ஓட்டம்
unit	—	அலகு
universal constant	—	பொது மாறிலி
universal gas constant	—	பொது வாயு மாறிலி
unknown	—	தெரியாத
unstable equilibrium	—	உறுதியில்லாச் சமநிலை
unstable	—	நிலைப்பாடற்ற, நிலையற்ற
upstream	—	மேற்புறம், மேல்நோக்கி

V

vacuum	—	வெற்றிடம்
vacuum pressure	—	வெற்றிட அழுத்தம்
valve	—	வால்வு
vapour	—	ஆவி
vapour pressure	—	ஆவியழுத்தம்
variable	—	வேறுபடும், மாறும்
vector	—	திசையுளி
velocity	—	திசைவேகம்
velocity head	—	திசைவேகத் தலைப்பு, திசைவேக உயரம்
velocity of approach	—	அணுகு திசைவேகம்
velocity distribution	—	திசைவேகப் பகிர்வு
velocity potential	—	திசைவேக அழுத்தம்
vena contracta	—	தாரைக் குறுக்கம்
Venturi	—	வெஞ்சுரி
Venturi meter	—	வெஞ்சுரி மானி
vertical	—	செங்குத்து
vessel	—	கலம்
vibration	—	அதிர்ச்சி
viscous	—	பாகு நிலையுள்ள
viscous flow	—	பாகுநிலை ஓட்டம்

viscosity — பாகுநிலை, பிசுபிசுத்தன்மை
voltage — மின் அழுத்தம்
voltage drop — மின் அழுத்த வீழ்ச்சி
voltage gradient — மின் அழுத்தச் சரிவு
volume — பருமன், கன அளவு
volumetric strain — பருமன் திரிபு
Von Karman — வான் கார்மன்
vortex — சுழல்
vortex motion — சுழலியக்கம்
vortex ring — சுழற் வளையம்
vorticity — சுழற் தன்மை

W

wake — சுழற் பாதை
water hammer — நீர்ச்சம்மட்டி அடி
water tunnel — நீர் புழல்
wave — அலை
wave front — அலை முகப்பு
weak jump — பலவீனமான குதிப்பு
Weber — வெபர்
wedge — ஆப்பு
weir — சிற்றணை, குறுஅணை, அணைக்கட்டு
Weisbach — வெய்ஸ்பாக்
welding — உருக்கிணைப்பு
wetted perimeter — ஈரச் சுற்றளவு
wetting — நனைத்தல்
White — ஒயிட்
wind tunnel — காற்று புழல்
work — வினை, வேலை

Y

Young's modulus — யங் குணகம்

Z

zero — சுழி
zone of noise — ஒலி மண்டலம்
zone of silence — மௌன மண்டலம்

பின்னிணைப்பு அ

SI அளவுமுறை

1960-ம் ஆண்டு கூடிய அனைத்துலக எடை, அளவுகள் மகா நாட்டில் பகுத்தறிவு அடிப்படையில் திருத்தப்பட்ட மெட்ரிக் முறை அளவுகளைப் பொறியியல், அறிவியல் துறைகளில் கையாளுவ தென்று தீர்மானிக்கப்பட்டது. அந்த மெட்ரிக் முறைக்கு அனைத் துலக அளவு முறை(International System of Units) அல்லது சுருக்க மாக SI அளவு முறை எனப் பெயரிடப்பட்டது.

MKS முறை என அழைக்கப்பட்டு தற்போது நம் நாட்டில் பழக்கத்திலிருக்கும் மெட்ரிக் முறையில், ஒரு கிலோகிராம் எடை யானது கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டால் பெறப்படுகிறது.

கிலோகிராம் எடை = கிலோகிராம் நிறை × புவியீர்ப்பு முடுக்கம்

(அ-து) கிகி(எ) = கிகி (நி) × g

இதில் g-ன் மதிப்பு 9·81 மீ/வி^{2} ஆகும். இந்த உலகத்தில் இடத்திற் கிடம் g-ன் மதிப்பு மாறுபடுவதால் 1 கிகி (நி)-யின் எடையானது இடத்திற்கிடம் மாறுபடும். விசையை அளக்க MKS முறையில் புவியீர்ப்பு அலகைப் (gravitational unit) பயன்படுத்துகிறோம்.

SI முறையில் நிறை அல்லது பொருண்மையின் அலகு கிலோ கிராம் என்றும், விசையின் அலகு நியூட்டன் என்றும் அழைக்கப் படுகிறது. விசையின் அலகான நியூட்டன் கீழ்க்கண்டவாறு வரையறுக்கப்படுகிறது; ஒரு கிலோகிராம் நிறையை 1 மீ/வி^{2} முடுக்கத்தில் செயற்படுத்தத் தேவையான விசையின் அளவு 1 நியூட்டன் ஆகும்.

1 நியூட்டன் = 1 கிகி (நிறை) × 1 மீ/வி^{2}

பின்வரும் அட்டவணைகளில் SI முறையில் கையாளப்படும் பல அடிப்படை, வருவிக்கப்பட்ட அலகுகளும், அவற்றின் பெயர்களும் விளக்கப்பட்டுள்ளன.

SI முறையில் மின்சார, வெப்ப, எந்திர அளவைகளில் வினைக் கான அலகை எளிதில் மாற்றலாம் என்பது நோக்கற்பாலது.

1 வாட் வினாடி = 1 ஜூல் = 1 நியூட்டன்-மீட்டர்

1 வா.வி = 1 ஜூல் = 1 நி-மீ

அட்டவணை அ-1

அடிப்படை SI அலகுகள்

அளவைகள் (1)	SI அலகு (2)	குறியீடு (3)	பெருக்குத் தொகையும் வகுப்புத் தொகையும் (4)	பரிமாணம் (5)
நீளம்	மீட்டர்	மீ	கிலோமீட்டர் : 1 கிமீ $= 10^{3}$ மீ மில்லிமீட்டர் : 1 மிமீ $= 10^{-3}$ மீ மைக்ரோமீட்டர் : 1 மைமீ $= 10^{-6}$ மீ	L
நிறை	கிலோகிராம்	கிகி	டன் : 1 டன் $= 10^{3}$ கிகி கிராம் : 1 கி $= 10^{-3}$ கிகி மில்லிகிராம் : 1 மிகி $= 10^{-6}$ கிகி	M
காலம்	விநாடி	வி	மைக்ரோவிநாடி : 1 மைவி $= 10^{-6}$ வி மில்லிவிநாடி : 1 மிவி $= 10^{-3}$ வி மணி : 1 ம $= 60$ நி நிமிடம் : 1 நி $= 60$ வி	T
தனி வெப்பநிலை	கெல்வின்	K		θ

அட்டவணை அ-2

வருவிக்கப்பட்ட SI அலகுகள்

அளவைகள் (1)	SI அலகு (2)	குறியீடு (3)	பெருக்குத் தொகையும் வகுப்புத் தொகையும் (4)	பரிமாணம் (5)
அலைவெண் (frequency)	கெர்ட்ஸ்	கெஸ் $=1$ சு/வி	1 மெகெஸ் $= 10^6$ கெஸ் 1 கிகெஸ் $= 10^3$ கெஸ்	$\frac{I}{T}$
விசை	நியூட்டன்	நி	1 மெநி $= 10^6$ நி 1 கிநி $= 10^3$ நி	MLT^{-2}
வினை, வேலை, வெப்ப அளவு	ஜூல்	ஜூல்	1 மெஜூல் $= 10^6$ ஜூல் 1 கிஜூல் $= 10^3$ ஜூல் 1 மிஜூல் $= 10^{-3}$ ஜூல்	ML^2T^{-2}
திறன்	வாட்	வா	1 மெவா $= 10^6$ வா 1 கிவா $= 10^3$ வா 1 மிவா $= 10^{-3}$ வா 1 மைவா $= 10^{-6}$ வா	ML^2T^{-3}

அட்டவணை அ-3

சில வருவிக்கப்பட்ட SI அலகுகளும் அவற்றின் பெயர்களும்

அளவைகள் (1)	SI அலகு (2)	குறியீடு (3)	பெருக்குத் தொகையும் வகுப்புத் தொகையும் (4)	பரிமாணம் (5)
பரப்பு	சதுர மீட்டர்	மீ^{2}	1 கிமீ^{2} = 10^6 மீ^{2} 1 மிமீ^{2} = 10^{-6} மீ^{2}	L^2
கன அளவு	கன மீட்டர்	மீ^{3}	1 லி = 10^{-3} மீ^{3} 1 செமீ^{3} = 10^{-6} மீ^{3} 1 மிமீ^{3} = 10^{-3} மீ^{3}	L^3
செறிவு	ஒரு கன மீட்டரின் நிறை	கிகி/மீ^{3}	1 கி/செமீ^{3} = 10^3 கிகி/மீ^{3}	ML^{-3}
திசைவேகம்	ஒரு விநாடிக்கு மீட்டர்	மீ/வி	1 கிமீ/வி = 10^3 மீ/வி 1 கிமீ/ம = $\frac{1}{3{\cdot}6}$ மீ/வி	LT^{-1}
கோணத் திசை வேகம்	ஒரு விநாடிக்கு ஆரையன்	ஆ/வி		T^{-1}

அளவைகள் (1)	SI அலகு (2)	குறியீடு (3)	பெருக்குத் தொகையும் வகுப்புத் தொகையும் (4)	பரிமாணம் (5)
முடுக்கம்	விஞடியின் வர்க்கத்திற்கு மீட்டர்கள்	மீ/வி^{2}		LT^{-2}
தகைவு	சதுர மீட்டரில் நியூட்டன்கள்	நி/மீ^{2}	1 மெநி/மீ^{2} = 10^6 நி/மீ^{2} 1 கிநி/மீ^{2} = 10^3 நி/மீ^{2} 1 மிநி/மீ^{2} = 10^{-3} நி/மீ^{2} 1 மைநி/மீ^{2} = 10^{-6} நி/மீ^{2} 1 பார் = 10^5 நி/மீ^{2}	$ML^{-1}T^{-2}$
நிறையலகு பருமன்	ஒரு கிலோ கிராமிற்கு கன மீட்டர்கள்	மீ^{3}/கிகி		L^3M^{-1}
அலகு பருமனெடை	ஒரு கன அளவில் நியூட்டன்கள்	நி/மீ^{3}	1 கிநி/மீ^{3} = 10^3 நி/மீ^{3}	$ML^{-2}T^{-2}$
இயக்கவிசைப் பாகுநிலை	ஒரு சதுர மீட்டரில் நியூட்டன்-விஞடி	நி-வி/மீ^{2}	1 பாய்ஸ் = 10^{-1} நி-வி/மீ^{2} 1 சென்டிபாய்ஸ் = 10^{-3} நி-வி/மீ^{2}	$ML^{-1}T^{-1}$

அளவைகள் (1)	SL அலகு (2)	குறியீடு (3)	பெருக்குத் தொகையும் வகுப்புத் தொகையும் (4)	பரிமாணம் (5)
இயக்கப் பாகுநிலை	ஒரு விநாடிக்கு சதுர மீட்டர்கள்	மீ^{2}/வி	1 ஸ்டோக் = 10^{-4} மீ^{2}/வி 1 சென்டி ஸ்டோக் = 10^{-6} மீ^{2}/வி	L^2T^{-1}
வெப்ப எண்	ஒரு கிலோ கிராம் கெல் வினுக்கு ஜூல்கள்	ஜூல்/ கிகி-கெ அல்லது ஜூல்/ கிகி-°செ	1 கிஜூல்/கிகி-கெ = 10^3 ஜூல்/கிகி-கெ	
என்ட்ரபி	ஒரு கெல்வினுக்கு ஜூல்	ஜூல்/கெ	1 கிஜூல்/கெ = 10^{-3} ஜூல்/கெ	

அட்டவணை அ-4

MKS முறையிலிருந்து SI முறைக்கு மாற்று விகிதங்கள்

அளவைகள் (1)	குறியீடு (2)	MKS முறையில் (3)	மாற்று விகிதம் (4)	SI முறையில் (5)	குறியீடு (SI முறை) (6)
விசை	F	டைன் கிலோகிராம் எடை டன் எடை	10^{-5} 9·806 9806·6	நியூட்டன்	நி
அலகு பருமனெடை	w	கிலோ கிராம்/ கன மீட்டர்	9·806	நியூட்டன்/ கன மீட்டர்	நி/மீ^{3}
திருப்புதிறன், இரட்டைத் திருப்புதிறன்	M T	டைன்-செமீ கிலோகிராம் (வி)-செமீ கிலோகிராம் (வி)-மீ	10^{-7} $9{\cdot}806 \times 10^{-2}$ 9·806	நியூட்டன்-மீட்டர்	நி-மீ
தகைவு	p	டைன்/ச.செமீ கிகி(எ)/ச.செமீ கிகி(எ)/ச.மிமீ	0·1 98066 $9{\cdot}806 \times 10^{6}$	நியூட்டன்/ச.மீ	நி/மீ^{2}

அளவைகள் (1)	குறியீடு (2)	MKS முறையில் (3)	மாற்று விகிதம் (4)	SI முறையில் (5)	குறியீடு (SI முறை) (6)
இயக்க விசைப் பாகுநிலை	μ	சென்டிபாய்ஸ்	10^{-3}		
		பாய்ஸ்	0·1		
		டைன்-விநுடி/ச.செமீ	0·1	நியூட்டன்-விநுடி/ச.மீ	நி-வி/மீ^{2}
		கிகி (எ)-விநுடி/ச.மீ	9·806		
இயக்கப் பாகுநிலை	ν	ச.செமீ/விநுடி	10^{-4}	சதுர மீட்டர்/விநுடி	மீ^{2}/வி
		ஸ்டோக்ஸ்	10^{-4}		
		சென்டி ஸ்டோக்ஸ்	10^{-6}		
நுண்புழை விசை	σ	டைன்/செமீ	10^{-3}	நியூட்டன்/மீட்டர்	நி/மீ
வேலை, வினை	W	எர்க்	10^{-7}		
	Z	கிலோகிராம்(வி)-மீட்டர்	9·806		
	E	கிலோவாட் மணி	$3{\cdot}6\times10^{6}$	ஜூல்	ஜூல்
		கலோரி	4·184		

அளவைகள் (1)	குறியீடு (2)	MKS முறையில் (3)	மாற்று விகிதம் (4)	SI முறையில் (5)	குறியீடு (SI முறை) (6)
திறன்	P	எர்க்/விநாடி கிலோகிராம்(வி)-மீட்டர்/விநாடி மெட்ரிக் பரி திறன் கிலோகலோரி/மணி	10^{-7} 9·806 735·5 1·163	வாட்	வா
தனி வெப்பநிலை	T	டிகிரி கெல்வின்	$\frac{5}{9}$	கெல்வின்	கெ
வெப்பநிலை	t, θ	டிகிரி சென்டிகிரேட் டிகிரி பாரன்ஹீட்	$273 \cdot 15 + t$ $273 + \frac{5}{9}(t - 32)$	கெல்வின்	கெ
வெப்பம்	θ	கலோரி கிலோகலோரி	4·186 4186·6	ஜூல்	ஜூல்
வளி மண்டல அழுத்தம்		கிலோகிராம்/ச.செமீ	$10 \cdot 13 \times 10^{4}$	நியூட்டன்/ச.மீ	நி/மீ^{2}

அட்டவணை அ-5

முன்னொட்டுகளும், அவற்றின் விளக்கங்களும்

முன்னொட்டு	பெருக்கல் எண்	குறியீடு
டிரா (tera)	10^{12}	டி (T)
ஜிஜா (giga)	10^{9}	ஜி (G)
மெகா (mega)	10^{6}	மெ (M)
கிலோ (kilo)	10^{3}	கி (k)
ஹெக்டோ (hecto)	10^{2}	ஹெ (h)
டெக்கா (deca)	10^{1}	டெக் (da)
டெஸி (deci)	10^{-1}	டெ (d)
சென்டி (centi)	10^{-2}	செ (c)
மில்லி (milli)	10^{-3}	மி (m)
மைக்ரோ (micro)	10^{-6}	மை (μ)
நாநோ (nano)	10^{-9}	நா (n)
பிக்கோ (pico)	10^{-12}	பி (p)

அட்டவணை ஆ

வளிமண்டலக் காற்றின் சிறப்பியல்புகள்

வெப்ப நிலை °செ	அடர்த்தி (கிகி/மீ^{3})	இயக்க விசைப் பாகுநிலை (சென்டி பாய்ஸ்)	இயக்கப் பாகுநிலை (சென்டி ஸ்டோக்ஸ்)	நுண்புழை விசை (காற்றில்)		ஆவி அழுத்தம்		பரும மீட்சிக் குணகம்	
				கி(எ)/செமீ	நி/மீ	கி(எ)/செமீ^{2}	நி/மீ^{2}	கிகி(எ)/செமீ^{2}	ஜிநி/மீ^{2}
—10	997·907	—	—	—	—	—	—	—	—
0	999·84	1·793	1·793	0·0771	0·0756	6·23	615	20,320	2·01
10	999·70	1·309	1·309	0·0756	0·0742	12·46	1 230	21,444	2·10
20	998·20	1·006	1·008	0·7410	0·0727	23·73	2 340	22,424	2·19
30	995·65	0·800	0·804	0·0726	0·0712	43·95	4 240	23,040	2·26
40	992·20	0·657	0·662	0·0709	0·0696	74·90	7 375	23,424	2·29
50	988·04	0·550	0·557	0·0691	0·0679	127·55	12 335	23,395	2·28
60	983·21	0·469	0·478	0·0674	0·0662	202·30	19 845	23,210	2·27
70	977·79	0·406	0·415	0·0655	0·0643	324·50	32 080	22,911	2·25
80	971·80	0·357	0·367	0·0635	0·0623	483·00	47 400	22,465	2·21
90	965·31	0·317	0·328	0·0618	0·0606	895·75	87 800	21,945	2·15
100	958·35	0·284	0·296	0·599	0·5880	1033·40	101 500	21,300	2·09

அட்டவணை இ

760 மிமீ பாதரச அழுத்தத்தில் காற்றின் சிறப்பியல்புகள்

வெப்ப நிலை (° செ)	அடர்த்தி (கிகி/மீ³)	இயக்கவிசைப் பாகுநிலை (சென்டி பாய்ஸ்)	இயக்கப் பாகுநிலை (சென்டி ஸ்டோக்ஸ்)
—10	1·341	$1·66 \times 10^{-2}$	12·12
0	1·292	$1·72 \times 10^{-2}$	13·02
10	1·254	$1·78 \times 10^{-2}$	13·92
20	1·201	$1·81 \times 10^{-2}$	14·80
30	1·164	$1·86 \times 10^{-2}$	15·69
40	1·129	$1·91 \times 10^{-2}$	16·56
50	1·096	$1·95 \times 10^{-2}$	17·46
60	1·066	$2·00 \times 10^{-2}$	18·38
70	1·029	$2·04 \times 10^{-2}$	19·42
80	1·001	$2·08 \times 10^{-2}$	20·40
90	0·972	$2·12 \times 10^{-2}$	21·40
100	0·946	$2·17 \times 10^{-2}$	22·47

நிறையுடை வாயு மாறிலிகள்

உலர் காற்றின் வாயு மாறிலி = 287·045 ஜூல்/கிகி கெ

தர வளிமண்டல அழுத்தம் = 101·325 கிநி/மீ²

தர வளிமண்டலக் காற்று

அடர்த்தி = 1·292 கிகி/மீ³

அட்டவணை ஈ

தர வளிமண்டலக் காற்றின் பண்புகள்

உயரம் (கிமீ)	வெப்ப நிலை (° கெ)	அழுத்தம் (கிநி/மீ^{2})	அடர்த்தி (கிகி/மீ^{3})	இடஞ்சார்ந்த அலைவேகம் (மீ/வி)
0	288 16	101·325	1·225	304.4 .
1·0	281·66	89·874	1·112	336·6
2 0	275·16	79·495	1·006	332·7
3·0	268·66	70·108	0·909	328·7
4·0	262·16	61·640	0·819	324·7
5·0	255·66	54·020	0·736	320·7
10·0	223·16	26·436	0·413	299·6
20·0	216·66	5·475	0·088	295·2

அட்டவணை உ

தள அமைப்புகளும் அவற்றின் சிறப்பியல்புகளும்

வடிவம் (1)	பரப்பு (2)	XX அச்சிலிருந்து வடிவின் மிகைத் தூரம் (3)	I_{xx} (4)	$z = \frac{I}{y}$ (5)	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$ (6)
b, d, x, x	bd	$\frac{d}{2}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{bd^2}{6}$	$\frac{d}{\sqrt{12}}$
b, d, x, x	bd	d	$\frac{bd^3}{3}$	$\frac{bd^2}{3}$	$\frac{d}{\sqrt{3}}$

வடிவம் (1)	பரப்பு (2)	XX அச்சிலிருந்து வடிவின் மிகைத் தூரம் (3)	I_{xx} (4)	$z = \frac{I}{y}$ (5)	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$ (6)
	b^2	$\frac{b}{\sqrt{2}}$	$\frac{b^4}{12}$	$\frac{b^3}{6\sqrt{2}}$	$\frac{b}{\sqrt{12}}$
	bd	$\frac{bd}{\sqrt{b^2+d^2}}$	$\frac{b^3d^3}{6(b^2+d^2)}$	$\frac{b^2d^2}{6\sqrt{b^2+d^2}}$	$\frac{0{\cdot}408\, bd}{\sqrt{b^2+d^2}}$

வடிவம்	பரப்பு	XX அச்சிலிருந்து வடிவின் மிகைத் தூரம்	I_{xx}	$z = \frac{I}{y}$	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	$b^2 - b_1^2$	$\frac{b}{\sqrt{2}}$	$\frac{b^4 - b_1^4}{12}$	$\frac{\sqrt{2}}{12}\left(\frac{b^4 - b_1^4}{b}\right)$	$\left[\frac{b^4 - b_1^4}{12(b^2 - b_1^2)}\right]^{\frac{1}{2}}$
	$\frac{bd}{2}$	$\frac{2}{3}d$	$\frac{bd^3}{36}$	$\frac{bd^2}{24}$	$\frac{d}{\sqrt{18}}$

வடிவம் (1)	பரப்பு (2)	XX அச்சிலிருந்து வடிவின் மிகைத் தூரம் (3)	I_{xx} (4)	$z=\frac{I}{y}$ (5)	$r=\sqrt{\frac{I}{A}}$ (6)
x d x b	$\frac{bd}{2}$	d	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{bd^2}{12}$	$\frac{d}{\sqrt{6}}$
b d x x a	$(a+b)\frac{d^2}{2}$	d	$(3b+a)\frac{d^3}{12}$	$(3b+a)\frac{d^2}{12}$	$d\sqrt{\frac{(3b+a)}{6(a+b)}}$

வடிவம் (1)	பரப்பு (2)	XX அச்சிலிருந்து வடிவின் மிகைத் தூரம் (3)	I_{xx} (4)	$z=\frac{I}{y}$ (5)	$r=\sqrt{\frac{I}{A}}$ (6)
	πr^2	r	$\frac{\pi r^4}{4}$	$\frac{\pi r^3}{4}$	$\frac{r}{2}$
	$\frac{\pi r^2}{2}$	$0{\cdot}424r$	$0{\cdot}11r^4$	$0{\cdot}19r^3$	$0{\cdot}264\,r$

வடிவம் (1)	பரப்பு (2)	XX அச்சிலிருந்து வடிவின் மிகைத் தூரம் (3)	I_{xx} (4)	$z = \frac{I}{y}$ (5)	$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$ (6)
x, $y = \frac{3}{5}d$, $y = \frac{2}{5}d$, b	$\frac{2}{3}bd$	$\frac{3}{5}d$	$\frac{8}{175}bd^3$	$\frac{8}{105}bd^2$	$0{\cdot}262\ d$
x, x, b, d	$\frac{2}{3}bd$	$\frac{b}{2}$	$\frac{b^3 d}{30}$	$\frac{b^2 d}{15}$	$\frac{d}{\sqrt{20}}$

வடிவம் (1)	பரப்பு (2)	XX அச்சிலிருந்து வடிவின் மிகைத் தூரம் (3)	I_{xx} (4)	$z=\frac{I}{y}$ (5)	$r=\sqrt{\frac{I}{A}}$ (6)
(ellipse: width b, height d, axis x–x horizontal)	$\frac{\pi}{4}bd$	$\frac{d}{2}$	$\frac{\pi bd^3}{64}$	$\frac{\pi bd^2}{32}$	$\frac{d}{4}$
(ellipse: width d, height b, axis x–x horizontal)	$\frac{\pi}{4}bd$	$\frac{b}{2}$	$\frac{\pi b^3 d}{64}$	$\frac{\pi b^2 d}{32}$	$\frac{b}{4}$

மேற்கோள் நூற்பட்டியல்
(BIBLIOGRAPHY)

Addison, H., *A Treatise on Applied Hydraulics*, Chapman and Hall, London, 1954.

Barna, B. S., *Fluid Mechanics for Engineers*, Butterworth Scientific Publications, London, 1960.

Binder, R. C., *Advanced Fluid Mechanics*, Vols. I and II, Prentice-Hall of India (Pvt) Ltd., New Delhi, 1964.

Chow, V. T., *Open Channel Hydraulics*, McGraw Hill Book Company, New York, 1959.

Daugherty, *Hydraulics*, McGraw Hill Book Company, New York.

Eskinazi, S., *Principles of Fluid Mechanics*, Allyn and Bacon, Inc., Boston.

Francis, J. R., D., *A Text Book of Fluid Mechanics*, Edward Arnold Publishers Ltd., London 1958.

Garde, R. J., *Fluid Mechanics*, Roorkee Publishing Company, Roorkee.

Garde V. G., and Advani R. M., *A Text Book of Hydraulics and Fluid Mechanics*, Macmillan and Company Ltd., New Delhi, 1971.

Gibson, A. H., *Hydraulics and its Applications*, Constable and Company, Ltd., London, 1957.

Govinda Rao, N. S., *Hydraulics*, Asia Publishing House, New Delhi, 1962.

Jagdish Lal, *Hydraulics and Fluid Mechanics*, Metropolitan Book Company, Delhi, 1969.

Kaufmann, W., *Fluid Mechanics*, McGraw Hill Book Company, Inc., New York, 1956.

Manohar, M., *Fluid Mechanics*, Asia Publishing House, New Delhi, 1963.

Massey, B. S., *Mechanics of Fluids*, D. Von Nostrand Company Ltd., London, 1968.

Murphy, G., *Similitude in Engineering*, The Ronald Press Co., New York, 1950.

Nagaratnam, S., *Fluid Mechanics and Systems*, Tata-McGraw Hill Publishing Company, New Delhi, 1971.

Nehrasov, B., *Hydraulics for Aeronautical Engineers*, Peace Publishers, Moscow.

Pao, R. H. F., *Fluid Mechanics*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1961.

Prandtl, L., *Essential of Fluid Dynamics*, Hafner Publishing Company, New York, 1962.

Rouse, H., and Howe, J. W., *Basic Mechanics of Fluids*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1953.

Rouse, Hunter, *Elementary Mechanics of Fluids*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1946.

Rouse, H., *Advanced Mechanics of Fluids*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1959.

Rouse, H., *Engineering Hydraulics*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1950.

Seshadri, C. V., and Patankar, S. V., *Elements of Fluid Mechanics*, Prentice-Hall of India (Pvt.) Ltd., New Delhi, 1971.

Schlichting, H., *Boundary Layer Theory*, McGraw Hill Book Company, New York, 1955.

Shames, I. H., *Mechanics of Fluids*, McGraw Hill Book, Company, 1962.

Shapiro, A. H., *Compressible Fluid Flow*, The Ronald Press Company, New York, 1953.

Streeter, V. L., *Fluid Dynamics*, McGraw Hill Book Company, New York, 1948.

Streeter, V. L., *Fluid Mechanics*, McGraw Hill Book Company, New York.

Vallentine, H. R., *Applied Hydrodynamics*, Butterworth, London, 1959.

பொருட்குறிப்பு அகராதி

(INDEX)

ஆ

இ

ஓ

ஃ

க

கா

ச

சா

சி

சீ

சு

தி

து

தெ

தே

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

சென்னை



பின்வரும் பொருள்களில்

பட்டப்படிப்பிற்குரிய நூல்கள்

விரைவில் வெளிவரும்

கணிதம்	—	41	நூல்கள்
இயற்பியல்	—	28	,,
வேதியியல்	—	39	,,
தாவரவியல்	—	30	,,
விலங்கியல்	—	40	.
பொறியியல்	—	50	
வரலாறு	—	45	
அரசியல்	—	34	
பொருளாதாரம்	—	8[illegible]	
வணிகவியல்	—	36	
புள்ளியியல்	—	16	
உளவியல்	—	8	,,
புவியியல்	—	18	,,